

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA ORGÂNICA**

DISSERTAÇÃO

**Avaliação de Composto Orgânico Proveniente de
Resíduos de Agroindústria de Banana e Palha de
Café**

Cleber da Mota Pereira

2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA ORGÂNICA**

**AVALIAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO PROVENIENTE DE
RESÍDUOS DE AGROINDÚSTRIA DE BANANA E PALHA DE CAFÉ**

CLEBER DA MOTA PEREIRA

Sob orientação do Pesquisador
José Antonio Azevedo Espindola

e Coorientação do Pesquisador
Marco Antonio de Almeida Leal

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura Orgânica**, no Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica.

Seropédica, RJ
Setembro de 2021

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001”.

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo (a) autor (a)

P436a Pereira, Cleber da Mota , 1979-
 Avaliação de Composto Orgânico Proveniente de
Resíduos de Agroindústria de Banana e Palha de Café /
Cleber da Mota Pereira. - Seropédica, 2021.
 32 f.

 Orientador: José Antônio Azevedo Espindola.
 Coorientador: Marco Antônio de Almeida Leal.
 Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura Orgânica, 2021.

 1. Adubos e fertilizantes orgânicos. 2. Resíduos orgânicos
 como fertilizantes. 3. Substratos orgânicos.
 I. Espindola, José Antônio Azevedo , 1968-, orient.
 II. Leal, Marco Antônio de Almeida , 1966-, coorient.
 III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
 Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica. IV.
 Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA ORGÂNICA**

CLEBER DA MOTA PEREIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós Graduação em Agricultura Orgânica.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 01/09/2021

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e neste caso a folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese / dissertação.

JOSÉ ANTONIO AZEVEDO ESPINDOLA
Dr. EMBRAPA AGROBIOLOGIA
Orientador, Presidente da Banca

EDNALDO DA SILVA ARAÚJO, EMBRAPA
Dr., EMBRAPA AGROBIOLOGIA
Examinador Interno

LUIZ FERNANDO DE SOUSA ANTUNES,
Dr., Doutor Gongolo – Soluções inteligentes
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

A Deus, senhor de tudo, por ter me permitido cursar este mestrado.

A minha esposa Katiane, pela força para participar do processo seletivo, e por todo apoio e compreensão, perseverança e persistência nos momentos durante a realização deste mestrado.

A minha mãe Maria Aparecida da Mota Pereira e meu pai Antônio da Silva Pereira, que me ajudaram na concretização deste sonho.

Ao meu orientador, José Antônio Azevedo Espindola, ao meu coorientador Marco Antônio Leal de Almeida, que se dispuseram a me orientar de todas as formas necessárias para a conclusão deste trabalho.

A amiga Priscila Ricci pela companhia durante as viagens e tanto me ajudou durante o curso. E aos colegas da Turma da Pousada (Bruno, Evandro, Érica, Leandro e Osman) por todos bons momentos compartilhados.

Ao proprietário da Agroindústria Energia da Fruta, Aroldo, que disponibilizou a casca de banana um dos principais insumos para realização deste trabalho.

Ao amigo Claudio Henrique Realino, que disponibilizou a propriedade, bem como ajudou na aquisição dos demais itens para a produção da compostagem.

Agradeço aos amigos Marquinhos, proprietário do viveiro de mudas, Paulinho, Messias e Luciano, que me auxiliaram na produção das mudas de tomate.

A EMATER na pessoa do gerente regional Alexandre Kurachi, que me permitiu a participação durante os encontros presenciais.

RESUMO

PEREIRA, Cleber da Mota. **Avaliação de Composto Orgânico Proveniente de Resíduos de Agroindústria de Banana e Palha de Café**. 2021. 32p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

A compostagem se caracteriza como um processo aeróbico, sendo uma das formas de reciclagem de resíduos orgânicos com características desagradáveis como odor e o aspecto, em composto, formando um insumo agrícola de cheiro agradável e livre de microrganismos patogênicos. Na busca por uma alternativa para a correta disposição dos resíduos da agroindústria de polpa de banana, foi avaliada a compostagem de um material que apresenta grandes teores de minerais especialmente nitrogênio e fósforo, juntamente com palha de café, subproduto resultante do processo de limpeza do café em “coco”. Atualmente, esses resíduos não são descartados de forma correta, por falta de um método de reaproveitamento de tais materiais. O presente trabalho objetivou avaliar a utilização do resíduo orgânico da agroindústria de polpa de banana juntamente com a palha de café resultante do processo de limpeza dos frutos, com adição de maravalha de pinus e esterco de galinha, nas proporções de 36,8 % de maravalha de pinus, 36,8 % de casca de banana, 22,1 % de palha de café e 4,3 % de esterco de galinha. Para se obter um volume determinado, foi confeccionada uma pilha de composto sobre uma lona, a partir de um molde de madeira com dimensões de 2,0 x 1,2 m, com 80 cm de altura, e monitorada observando-se os parâmetros temperatura e umidade, durante 120 dias. A maturação foi avaliada por meio da relação C/N. O composto produzido foi avaliado quanto ao seu desempenho na composição de substratos, utilizado em diferentes proporções com casca de arroz carbonizada em comparação com substrato comercial, na produção de mudas de tomate cultivadas em sistema orgânico, com as proporções 25 % composto + 75 % casca de arroz, 50 % composto + 50 % casca e 75 % composto + 25 % casca de arroz. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e quatro repetições, sendo uma testemunha com substrato comercial Bioplant® Plus. Foram avaliadas características como volume de raiz, comprimento das plantas e número de folhas. Após este período, o substrato com 75 % de composto e 25% de casca de arroz mostrou-se como promissor e poderá ser utilizado junto aos agricultores familiares.

Palavras-chave: Adubo orgânico. Resíduos. Substratos.

ABSTRACT

PEREIRA, Cleber da Mota. **Evaluation of Organic Compost from Agroindustrial Waste of Banana and Coffee Straw**. 2021. 32p. Dissertation (Master Science in Organic Agriculture). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

Composting is characterized as an aerobic process, being one of the ways of recycling organic waste with unpleasant characteristics such as odor and appearance, in compost, forming an agricultural input with a pleasant smell and free of pathogenic microorganisms. In the search for an alternative for the correct disposal of residues from the banana pulp agroindustry, the composting of a material that has high levels of minerals, especially nitrogen and phosphorus, together with coffee straw, a by-product resulting from the coffee cleaning process, was evaluated. in "coconut". Currently, these wastes are not disposed of correctly, due to the lack of a method for reusing such materials. The present study aimed to evaluate the use of organic residue from the banana pulp agroindustry together with the coffee straw resulting from the fruit cleaning process, with the addition of pine shavings and chicken manure, in the proportions of 36.8 % of shavings pine, 36.8% banana peel, 22.1% coffee straw and 4.3% chicken manure. To obtain a determined volume, a pile of compost was made on a canvas, from a wooden mold with dimensions of 2.0 x 1.2 m, 80 cm high, and monitored observing the temperature parameters. and humidity for 120 days. Maturation was evaluated using the C/N ratio. The compost produced was evaluated for its performance in the composition of substrates, used in different proportions with carbonized rice husk compared to commercial substrate, in the production of tomato seedlings grown in an organic system, with the proportions 25% compost + 75% husk of rice, 50% compost + 50% husk and 75% compost + 25% rice husk. The experiment was carried out in a completely randomized design, with four treatments and four replications, being a control with commercial substrate Bioplant® Plus. Characteristics such as root volume, plant length and number of leaves were evaluated. After this period, the substrate with 75% of compost and 25% of rice husk proved to be promising and could be used with family farmers.

Keywords: Organic fertilizer. Residues. Substrates.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Composição físico-química da casca de banana.....	3
Tabela 2 Temperatura para higienização da compostagem conforme CONAMA n° 481	6
Tabela 3 Proporção de materiais na compostagem.....	12
Tabela 4 Composição dos tratamentos	13
Tabela 5 Resultado da análise do composto após 120 dias.....	16
Tabela 6 Altura, número de folhas, massa fresca da parte aérea e volume de raiz de mudas de tomate produzidas com diferentes composições dos substratos orgânicos.....	17

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Molde em madeira.....	12
Figura 2. Temperaturas observadas durante o processo de compostagem.....	15

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Resíduos do beneficiamento de café.....	2
2.2 Casca de banana.....	2
2.3 Compostagem.....	4
2.4 Fatores que afetam o processo da compostagem.....	4
2.4.1 Aeração.....	4
2.4.2 Temperatura.....	5
2.4.3 Umidade.....	6
2.4.4 pH.....	7
2.4.5 Granulometria do material.....	7
2.4.6 Relação Carbono/Nitrogênio.....	7
2.4.7 Composição química da matéria-prima.....	8
2.4.8 Condutividade elétrica.....	8
2.5 Características desejáveis em um substrato.....	9
2.6 Esterco de galinhas poedeiras.....	9
2.7 Maravalha.....	9
2.8 Casca de arroz carbonizada.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 Produção do composto.....	11
3.2 Experimento de produção de mudas de tomate.....	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4.1. Experimento da Compostagem.....	15
4.2. Mudas de tomate.....	16
5. CONCLUSÕES.....	18
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

1 INTRODUÇÃO

A grande quantidade de resíduos gerados durante o processamento da matéria-prima representa um dos maiores problemas relacionados à agroindústria. Na maioria das vezes, esses resíduos não recebem nenhum tratamento adequado ou são reaproveitados, pelo contrário são depositados de maneira inadequada no ambiente. Apresentam-se como potenciais riscos de contaminação do solo e da água, e isto se repete nas cadeias produtivas do café e da banana. Lançando mão de técnicas da agricultura orgânica, é possível reutilizar estes resíduos de forma a reutilizar tais produtos.

A compostagem apresenta-se como uma alternativa natural de tratamento dos resíduos agroindustriais orgânicos, que pela ação de microrganismos promove a elevação da temperatura. Favorece assim uma desinfecção dos resíduos, promovendo a liberação de CO₂ e vapor d'água e formando um material orgânico estável, obtendo como produto um insumo agrícola como fonte alternativa de macro e micronutrientes para o solo. Estas características tornam os compostos orgânicos uma alternativa a ser empregada como substratos para a produção de mudas de hortaliças.

Com o incremento produtivo anual devido ao avanço tecnológico no meio rural e maior acesso da população aos alimentos, observa-se que há um aumento proporcional na geração de resíduos agroindustriais, tornando-se grande o desafio em buscar alternativas para mitigar os impactos à saúde pública e ao meio ambiente.

Os resíduos provenientes do setor cafeeiro são fontes de potencial poluição, devido à composição rica em carboidratos, proteínas e minerais presentes na palha. Por sua vez, a casca de banana como resíduo apresenta altos teores de amido e açúcares, além de contar com a presença de celulose, hemicelulose e lignina que dificultam a sua decomposição. Por se tratar de um material que apresenta uma alta umidade, gera mau cheiro e proliferação de mosquitos.

Pedralva é uma cidade do Sul de Minas, onde a base da renda baseia-se na produção de banana e café, sendo a maioria cultivada por agricultores familiares. Desta forma, torna-se abundante a disponibilidade de resíduo da agroindústria da banana, bem como as sobras dos processos de limpeza do café. Assim sendo, torna-se relevante buscar uma alternativa para o aproveitamento desta biomassa, que poderá ser empregado junto aos agricultores familiares para a produção de um substrato orgânico de baixo custo, que possa ser utilizado para a produção de mudas de hortaliças.

Diversos estudos vêm sendo realizados com o objetivo de viabilizar a utilização agrícola da casca de banana, devido aos seus elevados teores de nutrientes. Porém, a compostagem da casca de banana apresenta algumas dificuldades, principalmente em relação à sua aeração, devido a ser um material rico em amido e água, que leva à formação de uma mistura com textura predominantemente pastosa.

A produção de mudas de hortaliças demanda substratos ricos em nutrientes e com boas características físicas, como elevada capacidade de troca catiônica (CTC), poder tampão e porosidade. Por isso, estes substratos geralmente são formulados com elevados teores de matéria orgânica humificada, como o composto orgânico, em associação com algum material com elevada porosidade, como a casca de arroz. Porém, ainda não foram realizados estudos visando determinar a proporção mais adequada do composto orgânico em relação à casca de arroz.

Desta forma, realizou-se este trabalho com o objetivo de acompanhar o processo de compostagem da mistura de casca de banana, palha de café, maravalha de pinus e esterco de galinha, e avaliar diferentes proporções da mistura deste composto com casca de arroz visando obter um substrato para a produção de mudas de hortaliças.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Resíduos do Beneficiamento de Café

O beneficiamento do café é um grande gerador de resíduos sólidos, pois no tocante ao peso do café colhido, cerca de 50 % representam palha. A palha de café é resultante do processo de limpeza do café em coco, composta de epicarpo (casca), mesocarpo (polpa ou mucilagem) e endocarpo (pergaminho) (BRUM, 2007).

Sendo assim, os resíduos provenientes da cafeicultura são materiais constituídos basicamente de celulose, hemicelulose e lignina, havendo alteração em suas quantidades nas diferentes composições na constituição química da casca, polpa e o pergaminho, o que leva estes elementos a apresentarem características peculiares que os tornam diferentes (BRUM, 2007). Diversas pesquisas têm sido realizadas para viabilizar o uso na agricultura da palha de café, pois o que se vê na prática é que o seu aproveitamento é um tanto limitado.

Levando-se em consideração o grande volume que é produzido anualmente, o seu descarte inadequado pode levar a graves problemas ambientais, no tocante ao solo, rios e lençol freático (PORRES et al., 1993). O aproveitamento adequado destes resíduos pode: diminuir o impacto ambiental causado pelo seu descarte, conferir valor econômico ao resíduo, aumentar a renda do produtor e desenvolver as regiões onde sua disponibilidade é grande (BRUM, 2007).

Na preparação do café como bebida, apenas 9,5 % do peso da fruta é utilizado, ou seja 90,5 % restantes, os quais compreendem folhas, galhos e caules, os frutos não são aproveitados para a própria produção de café, a polpa do fruto que representa 44% do peso do fruto seco e o a borra que é o produto da preparação do café torrado e moído, representa 10% do peso do fruto seco (CURY et al., 2017).

A safra brasileira em 2020 foi de 63,08 milhões de toneladas de café beneficiado, o que implica em dizer que serão produzidos a mesma quantidade em toneladas de resíduos especificamente de palha de café. Em decorrência deste enorme volume de resíduos é que se estudam alternativas para a palha de café, dentre as quais destaca-se a utilização como substrato para crescimento de microrganismos, ração para animais, como combustível e como adubo orgânico (VEGRO; CARVALHO, 1994; GOUVEA et al., 2009).

Na atividade cafeeira, durante o processo de secagem e limpeza do café, são produzidas grandes quantidades de resíduos e restos culturais, como palha pergaminho, ramos, folhas, grãos quebrados e podres, sendo que grande parte desses resíduos não são aproveitados. Porém, se bem aproveitados e com o tratamento adequado, poderiam estar suprindo a demanda de insumos agrícolas (TEIXEIRA, 2002), bem como reduzir o custo das lavouras de café.

2.2 Casca de banana

A bananeira é uma planta nativa do Sudeste da Ásia, na Índia, Malásia e Filipinas. Há relatos de cultivo desta planta há mais de 4.000 mil anos, e hoje em dia se encontra espalhada por todas as regiões tropicais, tornando-a uma das mais importantes culturas do mundo. No Brasil, a banana representa um item de baixo custo no qual é fonte de calorias, vitaminas e minerais, por isso chega a ser considerada como alimento básico (DURIGAN; RUGGIERO, 1995). O Brasil é quarto maior produtor mundial de banana.

Segundo Lima et al. (2000), a banana madura apresenta 19 % de açúcares e 1 % de amido, em média. O fruto é basicamente composto de água (70 %), proteína (1,2 %),

carboidratos (27 %) e apresenta teores regulares de cálcio, ferro, cobre, zinco, iodo, manganês e cobalto, vitamina A, tiamina, riboflavina, niacina e vitamina C.

Tendo como principal destinação o consumo da fruta in natura a banana no Brasil, ainda uma parte significativa da produção é industrializada. Do processo de industrialização, o principal resíduo é a casca, a qual segundo Ribeiro et al. (2010) corresponde a aproximadamente 45 % do peso total deste fruto.

Os resíduos das cascas de bananas geralmente são descartados, sendo utilizados na alimentação animal, ou em menor frequência na compostagem (BAKRY et al., 1997). O descarte dessas cascas causa problemas ambientais (ZHANG et al., 2005) e, atualmente, existem poucos trabalhos na literatura que mencionam o aproveitamento destes resíduos.

Tabela 1. Composição físico-química da casca de banana.

Parâmetros	Casca de Banana
Nitrogênio Total (%)	0,52 %
Fósforo (%)	0,15 %
Potássio (%)	2,32 %
Relação C/N	49:1
Umidade (%)	85,36 %
Matéria Orgânica (%)	43,9 %

Fonte: Adaptado de PEREIRA (2013).

Assim como ocorre com o café no tocante à geração de resíduos, isto se repete na agroindústria de polpa de banana, porém com o agravante de que tal resíduo apresenta alta umidade e amido, o que leva a sérios problemas ambientais. A casca de banana é um importante resíduo agroindustrial, cuja principal aplicação no Brasil é como adubo orgânico. A geração de cascas e de outros resíduos fibrosos do processamento da banana representa aproximadamente 30 % da matéria prima (TOCK et al., 2010). Segundo Souza et al. (2009), para cada tonelada de banana Nanica processada na indústria, em torno de 3 toneladas de pseudocaule, 160 kg de engaços, 480 kg de folhas e 440 kg de cascas são produzidos.

Para cada tonelada da fruta colhida, são produzidas aproximadamente 4 toneladas de resíduos vegetais (FERNANDES et al., 2013). Na cultura da banana, são geradas enormes quantidades de resíduos, cada um com suas especificidades no tocante à composição química. Nesses resíduos se incluem casca, folha, pseudocaule e talo. Usar estes resíduos para a produção de insumos ou transformá-los em uma mercadoria reduziria a poluição ambiental.

Mesmo havendo estudos sobre a utilização da casca de banana para outros fins de aplicação, como na produção de papel artesanal (CORAIOLA; MARIOTTO, 2009), absorção de metais pesados em efluentes líquidos industriais (BUSKE; JOÃO, 2012), fabricação de bioetanol (SOUZA et al., 2012), ainda se trata de um resíduo pouco utilizado na agricultura.

De acordo com Ferreira et al. (2015), a compostagem de cascas de bananas para a utilização como substrato de mudas de *P. regnelli* é uma alternativa para o aproveitamento do resíduo da indústria de banana. Segundo Pedrosa et al. (2013), o processo de compostagem mostrou ser um eficiente método para reaproveitamento dos resíduos agroindustriais da banana., embora precise de um incremento quanto aos teores de nitrogênio.

2.3 Compostagem

KIEHL (1985) define compostagem como “um processo controlado de decomposição microbiana, de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica”. Ainda para alguns autores, consiste em um processo aeróbico controlado, promovido pela ação de colônia de mista de microrganismos, realizado em duas fases distintas: uma bioquímica, de oxidação mais intensa e predominantemente termofílica; e outra onde ocorre a fase de maturação, tendo como consequência a ocorrência do processo de humificação (PEREIRA NETO, 1987).

A compostagem vem sendo praticada desde a História Antiga. De forma empírica, gregos, romanos, e povos orientais já sabiam que resíduos orgânicos podiam retornar ao solo, contribuindo para melhorar sua fertilidade. Somente através de Albert Howard, na década de 1920, o processo passou a ser pesquisado cientificamente e aplicado de forma racional. A partir de então, trabalhos científicos lançaram as bases para o desenvolvimento desta técnica, que hoje vem sendo utilizada até mesmo em escala industrial (PEREIRA NETO et al., 1987; FERNANDES, 1999).

Por ser a matéria orgânica um recurso renovável com grande importância e sendo a base do ciclo orgânico e essencial a vida, a decomposição da matéria orgânica se torna uma condição indispensável para a fertilidade do solo (ROCHA, 2005). Para tanto, as características de boa fertilidade podem ser mantidas, recuperadas ou desenvolvidas com a aplicação de matéria orgânica, de forma a promover processos ecológicos, em associação ao acúmulo de biomassa e à ciclagem dos nutrientes.

De acordo com Kiehl (1998), a compostagem contribui para a reciclagem, na qual a fração orgânica dos resíduos é transformada em composto orgânico com inúmeras aplicações, desde a fertilização agrícola à diferentes melhorias em sua estrutura do solo. Segundo Miller (1993), para que aconteça o processo de compostagem, é preciso que ocorram interações complexas associadas a processos de sucessão entre diferentes grupos de microrganismos, os quais transformam o substrato e alteram as condições físicas e bioquímicas do meio, ao mesmo tempo em que são por elas também influenciados. Ocorre uma espécie de “sucessão ecológica”, que se diferencia da simples decomposição de materiais na natureza por ocorrer em temperaturas termofílicas e mesofílicas.

De acordo com Cordeiro (2010), podem ser identificadas três etapas fundamentais no processo de compostagem, que são: o condicionamento dos materiais, o processo de compostagem propriamente dito e por fim o afinamento do composto. Vale ressaltar que é na primeira etapa onde ocorre o pré-processamento, ou seja, é separada a fração orgânica dos demais materiais e redução da granulometria para facilitar a ação dos microrganismos e manter as condições ideais para a aeração.

Podem ainda ocorrer a adição de ajustes, nos quais podem ser misturados agentes de suporte para garantir uma boa estrutura da mistura, ou condicionante, que tem a função de corrigir a relação carbono/nitrogênio ou o teor de umidade.

2.4 Fatores que afetam o processo da compostagem

Por se tratar a compostagem de um processo biológico onde há ação dos microrganismos sobre a matéria orgânica, os fatores que afetam este processo são aqueles que influenciam, direta ou indiretamente, fazendo a população variar durante o processo da decomposição.

2.4.1 Aeração

A oxigenação da massa de compostagem é fundamental para uma boa eficiência do processo. Com maior quantidade de ar, a decomposição é mais rápida, o que a torna mais controlada, evitando o aumento de temperatura e/ou umidade, e consequentemente o mau cheiro. As pilhas do composto podem ser arejadas por revolvimentos manuais ou mecânicos, fazendo com que camadas mais externas passem a ocupar a parte interna. O fornecimento de oxigênio também pode ser feito por insuflação de ar (KIEHL, 1985).

A melhor forma de controlar a temperatura é através da aeração, evitando que ela se eleve a ponto de prejudicar o desenvolvimento dos microrganismos, incrementando a velocidade de oxidação do material, abaixando a produção de odores e contribuindo no controle da umidade. Quando a temperatura da massa está em torno de 55°C a 60°C, ocorre o maior consumo de oxigênio, considerando-se que os demais fatores estejam em equilíbrio, coincidindo com a atividade máxima dos microrganismos decompositores termofílicos (BAPTISTA, 2001).

Durante o processo de reviramento para provocar a oxigenação, o material em decomposição fica muito exposto ao meio externo, havendo troca térmica entre ambos. Neste momento, ocorre a formação de vapores, sendo que eles se constituem basicamente de água vaporizada e gases gerados durante o processo. Isso significa perda de umidade e dissipação de odores ao ambiente externo (BAPTISTA, 2001).

Na aeração forçada ou espontânea direcionada, realizada em leiras, pilhas estáticas ou “silos” de compostagem, onde o material tem o mínimo de contato com o meio externo, a injeção de ar no interior da pilha contribui para a diminuição da umidade, uma vez que a entrada de ar frio proporciona a formação de vapores orgânicos quando entram em contato com o ar quente do material em decomposição. Nesse caso, é importante quantificar o volume de ar para não ressecar o material (PUYUELO et al., 2010).

2.4.2 Temperatura

A temperatura é o fator mais importante na indicação do equilíbrio biológico do material em decomposição e da fase de estabilização. É através da temperatura que mostra a eficiência do processo, além de controlar a proliferação de sementes de ervas espontâneas e microrganismos patogênicos (INACIO; MILLER, 2009).

As altas temperaturas são necessárias para que ocorra compostagem, principalmente na fase inicial do processo de decomposição, onde a temperatura do material eleva-se significativamente nas primeiras 24 horas, atingindo entre 50° a 70°C dois ou três dias depois. Isso ocorre devido à presença de grande quantidade de carbono disponível. Portanto, é preciso que seja mantida uma temperatura ótima de desenvolvimento para os microrganismos, pois uma variação para mais ou para menos provoca uma redução da população e da atividade metabólica (RUSSO, 2003). Kiehl (1985) considera uma faixa ótima para a compostagem de 50 °C a 70 °C, sendo 60 °C a mais indicada.

As temperaturas acima de 70° são prejudiciais, pois limitam o número de microrganismos que conseguem sobreviver nesta condição por longos períodos. O excesso de temperatura também pode impedir a ação de enzimas, retardando a atividade dos microrganismos e, consequentemente o processo de compostagem (RUSSO, 2003).

A partir do momento que a quantidade de carbono vai diminuindo, as populações de microrganismos se sucedem, enquanto a temperatura vai baixando até atingir a faixa entre 45°C e 35°C, ou menos, atingindo a temperatura ambiente posteriormente, à medida que o processo de humificação avança.

Caso ocorra a falta de controle em um ou mais fatores (oxigenação, umidade, carbono disponível e outros), a diminuição de temperatura pode ocorrer, fazendo com que os microrganismos entrem em estado de latência e paralise antecipadamente o processo. Neste momento, pode-se supor que a temperatura esteja na faixa dos 40°C e isso indique o fim da fase de decomposição, o que não é correto. Caso ocorra um reequilíbrio na taxa de oxigenação, no teor de umidade ou na disponibilidade de carbono, o processo de decomposição será reativado. Então, novamente haverá o aumento da temperatura interna do material e a consequente eliminação dos microrganismos que haviam se reproduzido quando a temperatura estava em torno de 40°C.

Por outro lado, a falta de controle de alguns fatores pode também aumentar a temperatura a níveis que superam 75°C, o que leva a morte dos microrganismos termofílicos. Um dos principais motivos pode ser o excesso de umidade em associação com a falta de oxigenação da massa, o que leva à diminuição da troca térmica e a liberação de vapores ao meio externo, contribuindo para manter a umidade e a temperatura elevados (INÁCIO; MILLER, 2009).

Estudos realizados por Kiehl (1998) indica que temperaturas acima de 70°C por longos períodos provoca a redução de microrganismos na massa de compostagem, ocasionando a insolubilidade de proteínas hidrossolúveis promovendo a liberação de amônia, consequentemente a formação de odores identificados como forte cheiro de componentes de Maillard, que ocorrem durante o processo de decomposição do material orgânico. As principais características dessas reações são odores produzidos pelo aquecimento ou superaquecimento com temperaturas entre 70° a 80°C, onde na maioria das vezes apresentam odor desagradável.

Neste processo de higienização da compostagem, BRASIL (2017), estabelece critérios e procedimentos, de forma a garantir o controle de vetores e a qualidade ambiental. Nesta Resolução estão determinadas as temperaturas necessárias, de acordo com o tempo para a higienização dos resíduos orgânicos durante o processo de compostagem, como segue a tabela abaixo:

Tabela 2. Temperatura para higienização da compostagem conforme CONAMA n° 481

Sistema de Compostagem	Temperatura(°C)	Tempo (dias)
Sistemas abertos	> 55°C	14
	> 65 °C	3
Sistemas fechados	> 60 °C	3

Fonte: BRASIL (2017)

2.4.3 Umidade

Por ser um processo biológico de degradação da matéria orgânica, a presença de água é fundamental para as necessidades fisiológicas dos microrganismos. Os nutrientes devem estar disponíveis sob a forma de solução em água, para que possam ser absorvidos. O teor de umidade é variável ao longo do processo, devido a vários parâmetros como: tipo de matéria orgânica, tamanho das partículas, forma da leira de compostagem, peso específico da massa de compostagem, sistema e forma de aeração, entre outros (PEREIRA NETO; LELIS, 1999; RUSSO, 2003). Segundo Kiehl, (1998), a umidade deve estar em equilíbrio com a taxa de oxigênio da massa em decomposição. Valores acima de 70% prejudicam o processo, já que a água ocupa os macroporos e impede o oxigênio de circular. De acordo com Pereira et al. (1999),

no início do processo o teor ideal é de 60%, sendo que se for abaixo de 30% é prejudicial, pois inibe a atividade microbiológica, e durante o processo a umidade não pode cair para 40%.

No processo de compostagem, se o teor de oxigênio se torna inferior a 5 %, os microrganismos aeróbios tendem a morrer e ser substituídos pelos anaeróbios, que não decompõem a matéria orgânica com tanta rapidez e ainda produzem maus odores e lixiviados. Em teores de umidade abaixo de 40 %, ocorre a morte de microrganismos decompositores, paralisando o processo de decomposição, mesmo que os demais fatores estejam adequados. O ideal é que a umidade varie de 50 % a 70 %, para que os microrganismos se desenvolvam ao máximo.

A umidade excessiva não serve como mecanismo para reduzir a temperatura da massa, sendo que o excesso pode ocasionar um processo de anaerobiose com a consequente interrupção do processo de decomposição aeróbia em decorrência da falta de oxigênio (JIANG et al., 2011).

2.4.4 pH

Durante o processo de compostagem, o pH pode variar de 4,5 a 5,4, faixa que está associada à ação das bactérias, podendo aumentar para 7,0 a 8,0 ao longo do processo com estabilização do composto. Quando curado, de um modo geral, é relativamente pouco sensível aos valores de pH, pois a matéria orgânica com pH variável entre 3 e 11 pode ser compostada. No entanto, valores próximos a neutralidade são considerados ideais (5.5 a 8,0), porque é nesta faixa que os microrganismos melhor se adaptam. Por outro lado, há autores que sugerem de 6,5 a 9,6 como faixa de pH mais adequada à atividade de organismos termofílicos (EPSTEIN, 1997). É importante salientar que deve ser evitado ao máximo que o composto atinja valores extremos de pH muito ácido ou extremamente básico, pois pouquíssimas espécies de microrganismos atuam em faixas extremas. No entanto, isso se trata de um processo totalmente reversível, onde pode se aplicar correções de pH lançando mão de materiais alternativos.

2.4.5 Granulometria do material

Para Kiehl (1985), o tamanho das partículas é uma característica fundamental para o bom desenvolvimento da compostagem, pois essa característica irá definir a superfície de exposição para a ação dos microrganismos. Quanto maior o contato dos microrganismos com a superfície do material, menor a partícula da matéria orgânica e mais rápida será sua decomposição. Por outro lado, uma partícula que apresenta granulometria muito fina, menor que 2 mm, ocasiona a dificuldade de aeração, pois facilita a compactação, enquanto acima de 16 mm facilita o arejamento natural (RUSSO, 2003). Para isso, é importante encontrar um valor que considere a aeração e a superfície de exposição. Segundo Cordeiro (2010), as dimensões ótimas das partículas a serem utilizadas na compostagem não podem ultrapassar 3 cm de diâmetro.

2.4.6 Relação Carbono/Nitrogênio

A relação apropriada de carbono e nitrogênio é fundamental para o crescimento e ação das colônias de microrganismos envolvidos no processo de degradação da matéria orgânica, possibilitando a produção do composto em menor tempo (CERRI, 2008). Segundo Russo, (2003),

O carbono: (a) proporciona constituinte do material celular; b) funciona como elétron doador em metabolismos energéticos (respiração de substratos orgânicos e fermentação); c) funciona como elétron receptor em reações metabólicas de energia (fermentação, redução do CO₂ em CH₄). Por seu lado, o nitrogênio: a) é constituinte de proteínas, ácido

nucleico, coenzimas e aminoácidos; b) funciona como elétron doador em reações metabólicas de energia de certas bactérias; c) na forma de nitrito e de nitrato atua como elétron receptor em reações metabólicas de energia da bactéria da desnitrificação sob condições anaeróbias.

Segundo Kiehl, (1985), os microrganismos responsáveis pela produção de compostos absorvem esses elementos numa proporção de 30 partes de carbono para uma parte de nitrogênio, sendo esta a proporção ideal nos resíduos. No entanto, consideram-se os limites de 26/1 a 35/1 como sendo as relações C/N mais recomendadas para uma rápida e eficiente compostagem. No caso do material utilizado para a compostagem apresentar baixa relação C/N, haverá uma perda de nitrogênio na forma amoniacal, prejudicando a qualidade do composto. Quando isso ocorrer, recomenda-se juntar restos vegetais ricos em celulose, ou seja, com maiores teores de carbono, como resíduos de podas e jardinagem, para elevá-la a um valor próximo do ideal. Se o material utilizado apresentar uma relação C/N alta, o processo de compostagem será mais lento e, conseqüentemente, o produto apresentará baixos teores de matéria orgânica. Como forma de corrigir este fato, será necessário acrescentar materiais ricos em nitrogênio tais como esterco, torta vegetal, dentre outros (RUSSO, 2003; CORDEIRO, 2010). É importante salientar que, quanto mais diversa for a oferta de materiais, mais viável torna-se o processo, desde que mantida a relação C/N ideal (JIANG et al., 2011).

2.4.7 Composição química da matéria-prima

A composição química tem importância tanto no fornecimento de nutrientes essenciais, sejam macro ou micronutrientes, tanto para as plantas que receberam o composto como para os microrganismos envolvidos no processo de compostagem. Se o material orgânico apresentar reduzidos teores de nutrientes, isto dificulta o desenvolvimento dos microrganismos, pois fazem parte da constituição celular dos mesmos. De acordo com SILVA (1999) os materiais orgânicos compostáveis podem ser classificados em resíduos castanhos e resíduos verdes, onde castanhos seriam representados por aqueles que apresentam uma relação C/N acima de 30:1 como: feno, palha e outros, e os verdes com relação C/N abaixo de 30:1, a exemplo de casca de batata, restos de vegetais entre outros. Ainda segundo o autor, é importante adotar alguns cuidados, como a escolha de resíduos orgânicos que não atraiam animais ou que produzam odores desagradáveis. Outro cuidado relaciona-se a evitar materiais que contenham óleo ou materiais gordurosos, que podem impermeabilizar os materiais a serem compostados, impedindo a ação dos microrganismos. Destaca-se aqui a importância de utilizar agentes estruturantes como cama de frango, cavacos de madeira, gravetos, vagens de árvore, dentre outros, mais resistentes à degradação que os demais, garantindo condições aeróbias na massa a ser compostada após a degradação estrutural ocorrente na etapa termofílica, o que resulta em minimização dos poros do composto e estabelecimento de condições anaeróbias indesejáveis (CHANG; CHENG, 2010). Tais materiais apresentam-se como fontes de nutrientes por mais tempo, ao longo do processo de decomposição (LOPES et al., 2010).

2.4.8 Condutividade elétrica

De acordo com Paradela (2014), a condutividade elétrica é usada como parâmetro para obter a salinidade do composto, embora não seja capaz de determinar quais sais estejam presentes. Ainda é muito importante a realização das medições deste parâmetro, pois é através dos valores da condutividade elétrica que se poderá determinar a destinação do composto elaborado. Segundo este mesmo autor, os valores da condutividade elétrica do composto, durante o processo de degradação da matéria orgânica, são decrescentes em relação ao substrato inicial, mas esta volta a subir um pouco até o final do processo. Isto ocorre porque, no início,

há fixação da amônia em associação com outros íons juntamente com a atividade dos microrganismos. Já o aumento gradual ocorre porque existe a fixação de minerais ao longo da maturação do composto formado. Kiehl (1998) afirma que a condutividade elétrica é um indicador de maturação da compostagem, sendo que esta não deve ultrapassar $4000 \mu\text{S cm}^{-1}$.

2.5 Características desejáveis em um substrato

Para que ocorra uma germinação adequada das sementes, com um bom desenvolvimento do sistema radicular, é necessário que o substrato seja de boa qualidade (RAMOS et al., 2002). Para que isso ocorra, é preciso apresentar uma textura e pH adequados, fertilidade, estar livre de patógenos e mostrar-se bem estruturado. Desta forma, se propicia um suprimento de água, ar e nutrientes adequados para as raízes (GODOY; FARINACIO, 2007). Por se tratar de uma fase muito delicada do desenvolvimento das plantas, principalmente no tocante à disponibilidade de água, é que os atributos físicos do substrato se tornam fundamentais para se ter mudas de qualidade. Na possibilidade de redução de custo para a produção de substratos na preparação de mudas, muitas vezes os agricultores familiares têm utilizado materiais que possam ser encontrados na propriedade como terra, areia e compostos orgânicos (HAFLE et al., 2009). O substrato é de suma importância no processo de formação e desenvolvimento das raízes, pois assim quando as mudas forem levadas para o campo, quanto maior o volume radicular, maiores serão as chances de sobrevivência das plantas no início do seu desenvolvimento (HOFFMANN et al., 2001).

2.6 Esterco de galinhas poedeiras

O esterco de galinhas poedeiras caracteriza-se como um resíduo rico em nitrogênio, destacando-se dos outros tipos de resíduos animais, fazendo-se oportuna a adição deste insumo para corrigir os valores de N durante o processo de compostagem. Ele é eficiente por conter alto teor de nutrientes e matéria orgânica que são essenciais para as plantas, beneficiando as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, podendo suprir, parcial ou totalmente, o elemento na produção de alimentos (MORAES et al., 2006; FIGUEROA et al., 2012; FOGEL et al., 2013).

Sabe-se que as aves liberam urato e metabólitos junto com suas fezes pastosas. Por isso, o esterco de galinha destaca-se dos demais em conteúdo de nutrientes, especialmente em relação ao nitrogênio, que constitui mais de 80% da composição das fezes expelidas pelas aves (AUGUSTO, 2007).

A utilização do tipo de material da cama de frango varia de acordo com a atividade agrária desenvolvida. Para ser selecionado, o material precisa ter algumas características como: elevado teor de carbono, partículas com tamanho médio, baixo custo, baixa condutividade térmica, boa disponibilidade regional e servir como fertilizante após sua utilização (AUGUSTO, 2007; FERNANDES et al., 2013).

2.7 Maravalha

A maravalha é um recurso abundante no sul de Minas Gerais, devido à exploração de madeira, para produção de paletes, caixas para verdura e madeiras para a construção civil. Há uma parte que se destina à produção de briquetes de madeira, para alimentar lareiras e fogões a lenha, como fonte de energia.

A maravalha é um dos principais resíduos indústria madeireira. É resultado do processo de usinagem da madeira, em que as peças de madeira são passadas por plainas para o desempenamento do material denominado plaina e se apresentam como resíduo com mais de 2,5 mm de espessura. Uma das principais utilizações tem sido como material para confecção de

camas para animais. Constitui um dos principais materiais utilizados para a compostagem de dejetos de suínos (HIGARASHI et al., 2011).

De acordo com Oliveira et al. (2003), a composição da maravilha de pinus apresenta 92 % de matéria seca, 51 % de carbono, 0,1 % de nitrogênio, relação C/N de 391, 0,0 g/kg de fósforo, 0,18g/kg de potássio, 0,1g/kg de cálcio, 0,19g/kg de magnésio e 0,03g/kg de enxofre.

2.8 Casca de arroz carbonizada

A casca de arroz é um produto de fácil obtenção no município de Pedralva, que no passado teve no arroz uma cultura muito significativa. Ainda restam algumas empresas que beneficiam este grão no município. Segundo Foletto et al. (2005), a casca de arroz representa cerca de 20 % do peso dos grãos e contém, basicamente, 80-90 % de SiO₂, 5 % de K₂O, 4% de P₂O₅ e 1-2% de CaO e traços de Mg, Fe e Na.

Atualmente, a casca de arroz é utilizada como material para forrar o piso dos caminhões de transporte de gado e posteriormente descartada a céu aberto, criando um passivo ambiental. Na sua maioria, este resíduo chega até os leitos dos rios carregado pelas enxurradas, devido à topografia da região.

Recentemente, a casca de arroz carbonizada passou a ter um uso mais nobre na composição de substratos para plantas, pois apresenta condições desejáveis. Segundo Watthier (2016), apresenta baixa densidade e alta porosidade, proporcionando melhor escoamento de excesso de água, e conseqüentemente, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular.

Devido ao fato de ser carbonizada, isso permite a penetração das raízes no substrato e proporciona a troca de ar na base das raízes, apresentando característica de ser firme e densa, o que garante melhor fixação da semente ou estaca, além de se mostrar livre de plantas espontâneas, nematóides e patógenos (SOUZA, 1993). Ainda segundo Watthier, (2016), a adição de casca de arroz carbonizada em outros materiais possibilita a melhoria das propriedades físicas de um substrato original.

De acordo com Maia (2020), a casca de arroz carbonizada, quando em mistura com outros substratos comerciais, é capaz de propiciar uma redução dos custos para o produtor de mudas, pois se trata de um produto barato e é abundante.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Produção do composto

O processo de produção do composto foi conduzido na propriedade rural denominada Sítio Bela Vista, localizada no município de Pedralva-MG, tendo como coordenadas: 22°29'19,77" S e 45°47'48,26" O. O clima da região, de acordo com o Sistema Internacional de Köppen, é do tipo Cwb (Clima subtropical de altitude), com média anual de precipitação de 1.409,5 mm, médias anuais de temperatura de 17°C, sendo a máxima média anual de 23,3°C e a mínima média anual de 10,1°C. A cidade integra a região do Sul de Minas Gerais, com altitude de 900 a 1.200 m em relação ao nível do mar.

Os resíduos orgânicos coletados foram: (a) A polpa de banana, na agroindústria de polpa de banana da agroindústria Energia da Fruta, localizada no bairro Pedrão, na cidade de Pedralva; (b) A palha de café, nas propriedades rurais produtoras de café, onde se faz a limpeza; (c) O esterco de galinhas poedeiras na granja Santa Tereza, localizada no bairro Belo Ramo no município de Pedralva; e (d) A maravalha de pinus, adquirida de uma serraria do município de Wenceslau Brás.

O composto foi produzido com diferentes proporções, como descrito em seguida: A pilha foi montada sobre lona plástica com espessura de 150 micra, geralmente utilizada na cobertura de silos, com a finalidade de evitar o contato direto com o solo. Para que a pilha tenha um padrão conforme adaptado de NOVAES et al. (2013), foi confeccionado um molde de madeira com dimensões de 2,0 x 1,2 m, por 0,8 m de altura. O material foi molhado, buscando uma boa distribuição da umidade, mantendo-se os teores entorno de 50 % de umidade.

A montagem das pilhas foi feita na forma de camadas, alternando cada material. Após a montagem, as cascas de banana adicionadas ao tratamento tornaram a mistura mais desagregada, escorregadia e difícil de ser empilhada, motivo pelo qual as duas pilhas não ficaram com aspecto uniforme. O material foi umedecido e revirado, buscando-se uma boa distribuição da umidade.



Figura 1: Molde em madeira. Créditos: Cleber Pereira.

Tabela 3. Proporção de materiais na compostagem.

Componentes	Porcentagem (%)
Maravalha de pinus	36,8
Casca de banana	36,8
Palha de café	22,1
Esterco de galinha	4,3
TOTAL	100

Para a determinação das quantidades de materiais necessários para a formulação da compostagem, foi utilizada a planilha, Compost Calc Excel v 2.8p, para a obtenção de um composto com relação C/N em torno de 30. Foi feita a coleta das amostras foram encaminhadas para o laboratório da EMBRAPA Agrobiologia, onde foram determinados os teores de C e N, visando ao cálculo da relação C/N destes compostos.

Semanalmente, foi realizada a avaliação de temperatura, utilizando-se um termômetro digital com haste de inox de 20 cm, ocasião em que também foram realizados revolvimentos das pilhas e adição de água, quando necessário. Após este período de 120 dias, foram realizadas as análises de teores de N e C, a relação C/N, bem como emissões potenciais de CO₂ e NH₃, que são indicadores da estabilidade do composto que foram quantificadas conforme metodologia descrita por OLIVEIRA et al. (2014). Os teores totais de C e de N foram

determinados por meio de um analisador elementar e as emissões potenciais de CO₂ e de NH₃ foram quantificadas conforme metodologia descrita por Leal (2020).

3.2. Experimento de produção de mudas de tomate

O experimento foi conduzido em viveiro de mudas de café, no município de Pedralva-MG, coordenadas Latitude 22°15'9.11"S e longitude 45°28'6.34"O. Neste experimento, avaliou-se a utilização do composto obtido com a mistura de casca de banana, palha de café e maravalha de pinus como matéria-prima para a formulação de substrato para a produção de mudas de tomate. Foram avaliados substratos obtidos a partir da mistura do composto com diferentes proporções de casca de arroz carbonizada. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e quatro repetições, sendo uma testemunha com substrato comercial Bioplant® Plus, cuja composição conforme descrita pelo fabricante é: Turfa de sphagnum, Fibra de coco, Casca de arroz, Casca de Pinus, Vermiculita, gesso agrícola, carbonato de cálcio, magnésio, termofosfato magnésiano (Yoorin) e aditivos (fertilizante 04-14-08), Potencial hidrogeniônico (pH): 6,2, condutividade elétrica (CE): 0,7. Densidade: 150 kg/m³ e Capacidade de Retenção de Água – CRA: 100%. A composição dos demais tratamentos aparece na Tabela 4.

Antes de ser utilizado como substrato, o composto orgânico foi passado em peneira com malha de 3,67 mm.

Tabela 4. Composição dos tratamentos.

Tratamento	Composição
1	25% composto 75% casca de arroz
2	50% composto 50% casca de arroz
3	75% composto 25% casca de arroz
4	substrato comercial

O tomate foi escolhido por ser uma cultura significativa na região, onde grande parte dos agricultores familiares cultivam esta hortaliça durante o ano. Uma outra característica é o fato de que o tomate é uma cultura com sensibilidade à salinidade, dentro de um limite máximo de condutividade elétrica de 2,5 dS m⁻¹ (LEAL, 2006). A cultivar utilizada foi a Super Marmande, por ser mais recomendada para a época do ano em função da temperatura bem como por não apresentar agrotóxicos no tratamento da semente.

As mudas foram preparadas em bandeja de PVC flexível de 200 células, onde cada parcela foi composta de 100 células, no mês de novembro de 2020, tendo sido colhidas após 28 dias. Cada parcela foi composta por 10 plântulas por parcela, as quais foram pesadas em balança de precisão para avaliação da massa fresca, onde as mudas foram seccionadas no colo separando raiz de parte aérea. A altura foi medida com auxílio de paquímetro, partindo do colo da planta até a gema apical, enquanto o volume das raízes foi medido com auxílio de uma proveta de 50 mL, onde as raízes foram inseridas e medido o deslocamento de água ao longo dela.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento da Compostagem

Foi observado, durante o processo de compostagem, que a temperatura da pilha se manteve acima da temperatura ambiente praticamente durante todo o processo de compostagem, o que leva a crer que a ocorrência dessa temperatura seja provocada por uma elevada atividade microbiana. Durante os primeiros 15 dias, ocorreu um pico de temperatura, de 55,4° C. Conforme BRASIL (2017), durante este período, essa temperatura é importante para higienização do composto, sendo que essa característica é fundamental quando há adição de produtos de origem animal. Como no caso do presente estudo se utilizou esterco de galinhas poedeiras, essa característica contribuiu para a qualidade do composto (Figura 1).

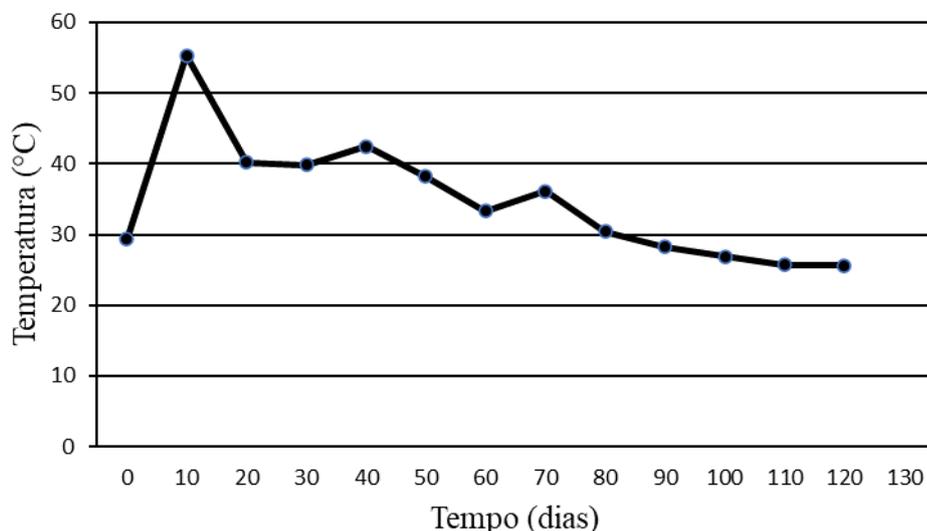


Figura 2. Temperaturas observadas durante o processo de compostagem.

A pilha de composto apresentou uma queda progressiva de temperatura até o primeiro reviramento (20 dias), fato este atribuído provavelmente por uma perda de umidade devido as características da matéria-prima dominante, formada por maravalha de Pinus e a palha de café. Após o reviramento e irrigação, a pilha voltou a se aquecer naturalmente até alcançar uma segunda fase termofílica, com temperaturas superiores a 43 °C até aproximadamente 40 dias.

A partir deste momento, a pilha passou a apresentar uma queda progressiva da temperatura, registrando médias inferiores a 43 °C, indicando o início da fase mesofílica. A partir dos 90 dias, o tratamento registrou temperaturas inferiores a 30 °C até o final do experimento, sendo este um indicativo de que a compostagem já estava estabilizada e entrava na fase de maturação ou cura, que durou até o final do experimento. Tais resultados aproximam daqueles obtidos por Abreu et al. (2011).

A principal característica para determinar se um composto é seguro para ser utilizado como fonte de nutrientes encontra-se associado à ausência de elementos fitotóxicos e/ou patógenos. Neste caso, como pode ser observado aos 120 dias, o composto apresentou índices de liberação de CO₂ próximos aos valores que são considerados estáveis (Tabela 5), ou seja,

menor que $4,0 \text{ mg g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (BERNAL et al., 1998). Ainda conforme Zucconi; Bertoldi (1987), foi estabelecido um limite de 0,04% para composto de lixo urbano maduro, resultado que pode ser observado na Tabela 5, onde a emissão de NH_3 encontra-se abaixo deste limite, podendo-se inferir que o composto depois de 120 dias se encontra estabilizado. Ele se observa na referida tabela quanto à relação C/N, que segundo Kiehl, (1998), a relação C/N no processo da compostagem alcança a bioestabilização, com uma relação C/N que se posiciona em torno de 18:1, e quando chega a maturidade, ou seja, transformou-se em produto acabado ou humificado.

Tabela 5. Resultado da análise do composto após 120 dias.

	Teor de N	Teor de C	Relação C/N	Emissão potencial de CO_2	Emissão potencial de NH_3
	----- g kg^{-1} -----			----- $\text{g}^{-1} \text{ MS dia}^{-1}$ -----	
	--			--	
Composto após 120 dias	22,0	317,9	14,4	4,6	0,004

4.2 Mudanças de tomate

Diante dos dados apresentados na Tabela 6, foi possível observar que a utilização do substrato com proporção de 75% composto e 25% casca de arroz para produção de mudas de tomate mostrou-se ser mais eficiente que o substrato comercial quanto à altura das mudas. Os demais parâmetros avaliados não apresentaram diferenças significativas entre os diferentes tratamentos avaliados. Tais resultados indicam o potencial do tratamento 75% composto e 25% casca de arroz em proporcionar melhor qualidade das mudas de hortaliças como o tomateiro.

Tabela 6. Altura, número de folhas, massa fresca da parte aérea e volume de raiz de mudas de tomate produzidas com diferentes composições dos substratos orgânicos.

Tratamento	Altura ----cm----	Número de folhas	Massa* Fresca ----g----	Volume de Raiz ----ml----
25% composto 75% casca de arroz	5,71 ab	4,25 a	1,65 a	0,83 a
50% composto 50% casca de arroz	5,77 ab	4,25 a	1,88 a	0,90 a
75% composto 25% casca de arroz	6,65 a	5,00 a	2,38 a	1,13 a
100% substrato comercial	4,93 b	4,00 a	1,45 a	0,50 a
CV(%)	7,46	11,43	26,05	62,33

*Peso de dez plantas; Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey $p \leq 0,05$

5 CONCLUSÕES

- A compostagem se mostrou um processo eficiente para a obtenção de substrato orgânico a partir de resíduos da agroindústria de polpa de banana associado com palha de café, possibilitando uma destinação ambientalmente correta para estes resíduos.
- Compostos orgânicos formulados à base de casca de banana, palha de café, maravalha e cama de aviário apresentam potencial para a produção de substrato para mudas de tomate quando na proporção de 75% de composto mais 25% de casca de arroz carbonizado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, P. G.; PAIVA, D. P. de; ABREU, V. M. N.; COLDEBELLA, A. CESTONARO, T. Casca de arroz e palhada de soja na compostagem de carcaças de frangos de corte. *Acta Scientiarum*, v. 33, p. 51-57, 2011.
- AUGUSTO, K. V. Z. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia.** 2007. 131 p. Dissertação (Mestrado) – Unesp, Jaboticabal.
- BAKRY, F.; CARREEL, F.; CARUANA, M. L.; COTE, F. X.; JENNY, C.; MONTCEL, H. T. Les bananiers. In: CHARRIER, A.; JACQUOT, M.; HAMON, S.; NICOLAS, D. **Amélioration des plantes tropicales**, Montpellier: CIRAD-ORSTOM, 1997. p. 109– 139.
- BAPTISTA, F. R. M. **Caracterização física e comercial do lixo urbano de Vitória-ES, em função da classe social da população geradora.** 2001. 164 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- BERNAL, M. P.; PAREDES, C.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; CEGARRA, J. Maturity and stability parameters of composts prepared wide range of organic wastes. *Bioresources Technology*, v. 63, p. 191-199, 1998.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL 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. Brasília, 2017.
- BRUM, S. S. **Caracterização e modificação química de resíduos sólidos do beneficiamento do café para produção de novos materiais.** 2007. 138 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- BUSKE, J. L.; JOÃO, J. J. Biomassa residual: Utilização da casca da banana como adsorvente de metais pesados em efluentes líquidos industriais. In: JORNADA UNISUL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2012, Tubarão. Anais eletrônicos. Santa Catarina, 2012. Disponível em: http://www.rexlab.unisul.br/junic/2012/arquivo_sistema/resumo_expandido_2012_21_08_17_5033ffe331925.pdf. Acesso em 08 nov. 2021.
- CERRI, C. E. P. **Compostagem.** São Paulo: Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, 2008. 19 p.
- CHANG, Y. J.; CHENG, J. I. Effects of bulking agents on food waste composting. *Bioresource Technology*, v. 101, p. 5917-5924, 2010.
- CORAIOLA, M.; MARIOTTO, S. C. Proposta metodológica para produção artesanal de papel utilizando a fibra do pseudocaule da bananeira. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, v. 7, p. 207-216, 2009.

CORDEIRO, N. M. **Compostagem de resíduos verdes e avaliação da qualidade dos compostos obtidos**: caso de estudo da algar S.A. 2010. 102 p. Tese (Mestrado) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

CURY, K.; AGUAS, Y.; MARTÍNEZ, A.; OLIVERO, R.; CHAMS, L. Resíduos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. **Revista Colombiana de Ciencia Animal**, v. 9, p. 122-132, 2017.

DURIGAN, J.F.; RUGGIERO, C. **Bananas de qualidades**. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 37 p.

EPSTEIN, E. **The science of composting**. Pennsylvania: Technomic Publishing, 1997, 504 p.

FERNANDES, P. A. L. **Estudo comparativo e avaliação de diferentes sistemas de compostagem de resíduos sólidos urbanos**, 1999. 128 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.

FERNANDES, E. R. K.; MARANGONI, C.; SOUZA, O.; SELLIN, N. Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source. **Energy Conversion and Management**, v. 75, p. 603-608, 2013.

FERREIRA, M. de C.; COSTA, S. M. L.; PASIN, L. A. A. Uso de resíduos da agroindústria de bananas na composição de substratos para a produção de mudas de pau pereira. **Nativa**, v. 3, p. 120-124, 2015.

FIGUEROA, E. A.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; WIETHOLTER, S. Dose de esterco de ave poedeira e suprimento de nitrogênio na cultura do trigo. **Revista Brasileira Engenharia Agrônômica Ambiental**, v.16, p. 714-720, 2012.

FOGEL, G. F.; MARTINKOSKI, L.; MOKOCHINSKI, F. M.; GUILHEMETTI, P. C. G.; MOREIRA, V. S. Efeitos da adubação com dejetos suínos, cama de aves e fosfato natural na recuperação de pastagens degradadas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 8, p. 66-71, 2013.

FOLETTI, E. L.; HOFFMANN, R.; HOFFMANN, R. S.; PORTUGAL JR., U. R.; JAHN, S. L. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Química Nova**, v. 28, p. 1055-1060, 2005.

GODOY, W. I.; FARINACIO, D. Comparação de substratos alternativos para a produção de mudas de tomateiro. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, p. 1095-1098, 2007.

GOUVEA, B. M.; TORRES, C.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S.; OLIVEIRA, E. S. Feasibility of ethanol production from coffee husks. **Biotechnology Letters**, v. 31, p. 1315-1319, 2009.

HAFLE, O. M.; SANTOS, V. A. dos; RAMOS, J. D.; CRUZ, M. do C. M. Produção de mudas de mamoeiro utilizando Bokashi e lithothamnium. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.31, p.245-251, 2009.

HIGARASHI, M. M.; SARDÁ, L. G.; OLIVEIRA, P. A. V. de; MATTEI, R. M.; COMIN, J. J. Avaliação do desempenho da maravalha e da palha de azevém (*Lolium multiflorum*) como substratos na compostagem dos dejetos de suínos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 2., 2011, Foz do Iguaçu. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. v. 2.

HOFFMANN, A.; PASQUAL, M.; CHALFUN, N. N. J. Efeito de substratos na aclimatização de plantas micropropagadas do porta-enxerto de macieira 'Marubakaido'. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, p.462-467, 2001.

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 156 p.

JIANG, T.; SCHUCHARDT, F.; LI, G. X.; GUO, R.; ZHAO, Y. Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting. **Journal of Environmental Sciences**, v. 23, p. 1754-1760, 2011.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Ceres, 1985. 482 p.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: s. ed., 1998. 162 p.

LEAL, M. A. A. **Método de avaliação da estabilidade de materiais orgânicos por meio de emissões potenciais de CO₂ e de NH₃**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2020. 46 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 316).

LEAL, M. A. A. **Produção e eficiência agrônômica de compostos obtidos com a palhada de gramínea e leguminosa para o cultivo de hortaliças orgânicas**. 2006. 143 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

LIMA, A. G. B. de; NEBRA, S. A; QUEIROZ, M. R. Aspectos científico e tecnológico da banana. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 2, p. 87-101, 2000.

LOPES, M.; SOLIVA, M.; MARTÍNEZ-FARRÉ, F. X.; BONMATÍ, A.; HUERTA-PUJOL, O. An assessment of the characteristics of yard trimmings and recirculated yard trimmings used in biowaste composting. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 1399-1405, 2010.

MAIA, A. A. **Desenvolvimento de substrato formulado com composto orgânico e casca de arroz para a produção de mudas de hortaliças**. 2020. 44 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

MILLER, F. C. Composting as a process base on the control of ecologically selective factors. In: METTING, F.B. (Ed.). **Soil microbial ecology: application in agricultural an environmental management**. New York: Marcel Dekker, 1993. p. 515-541.

MORAES, B. E. R.; MOURA, G. S. A.; PRADO, P. P.; BENEDETTI, E. Potencialidades do uso de cama de frango na recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria decumbens*.

Veterinária Notícias, v. 12, p. 127, 2006.

NOVAES, J. P., MASSUKADO, L. M., LIMA, R. F. F., ARAÚJO, E. G., COUTO, J. C. Avaliação do processo de compostagem dos resíduos sólidos orgânicos produzidos no Instituto Federal de Brasília - Campus Planaltina. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, p. 1-5, 2013.

OLIVEIRA, E. A. G.; LEAL, M. A. A.; ROCHA, M. S.; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. de L. D. **Avaliação da estabilidade de materiais orgânicos por meio de incubação e da captura conjunta das emissões de CO₂ e de NH₃**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2014. 26 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 97).

OLIVEIRA, V. R.; FREIRE, F. M.; VENTURIN, R.; CARRIJO, O. A.; MASCARENHAS, M. H. T. Caracterização química de substratos para produção de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v. 21, p. 288, 2003. Suplemento 1.

PARADELA, C. S. **Projeto piloto de compostagem acelerada**. 2014. 93 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Porto, Porto, Portugal.

PEDROSA, T. D.; FARIAS, C. A. S.; PEREIRA, R. A.; FARIAS, E. T. R. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais. **Nativa**, v. 1, p. 44-48, 2013.

PEREIRA, R. A. **Compostagem em pequena escala e uso do composto como substrato na germinação de sementes de tomate (*Lycopersicon esculentum*)**. 2013. 56 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal.

PEREIRA, NETO, J. T. **On the treatment of municipal refuse and sewage sludge aerated static pile composting: a low cost technology approach**. 1987. 198 p. Tese (Doutorado) - Leeds University, Leeds, Inglaterra.

PEREIRA NETO, J. T.; LELIS, M. P. N. Importância da umidade na compostagem: uma contribuição ao estado da arte. In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – AIDIS. **Desafios para o saneamento ambiental no terceiro milênio**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 1-9.

PEREIRA NETO, J. T.; STENTIFORD, E. I.; MARA, D. D. Sistema de compostagem por pilhas aeradas: uma alternativa de baixo custo ao tratamento e reciclagem do lixo urbano e lodos de esgotos domésticos. **Revista Informação Apesb**, v. n 29, p. 3-19, 1987.

PORRES, C.; ALVAREZ, D.; CALZADA, J. Caffeine reduction in coffee pulp through silage. **Biotechnology Advances**, v. 11, p. 519-523, 1993.

PUYUELO, B.; GEA, T.; SANCHEZ A. A new control strategy for composting process based on the oxygen uptake rate. **Chemical Engineering Journal**, v.165, p 161-169, 2010.

RAMOS, J. D.; CHALFUN, N. N. J.; PASQUAL, M.; RUFINI, J. C. M. Produção de mudas de plantas frutíferas por semente. **Informe Agropecuário**, v. 23, p. 64-72, 2002.

RIBEIRO, W. S.; COSTA, L. C.; ALMEIDA, E. I. B.; CARNEIRO, G. G.; BARBOSA, J. A. Procedência, qualidade e perdas pós-colheita de banana Pacovan no mercado atacadista da Empresa de Campina Grande, PB. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 4, p. 33-42, 2010.

ROCHA, A. A. Controle da qualidade do solo. In: PHILIPPI, J. R. A. (Org.). **Saneamento, saúde e ambiente**. 2. ed. Barueri: Manole, 2005. p. 485-515.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento de resíduos sólidos**. Coimbra: Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 2003. 196 p.

SOUZA, F. X. Casca de arroz carbonizada: um substrato para a propagação de plantas. **Revista Lavoura Arrozeira**, v. 46, p.11, 1993.

SOUZA, O.; FEDERIZZI, M.; COELHO, B.; WAGNER, T.M.; WISBECK, E. Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na bananicultura e sua valorização para a produção de biogás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.438-443, 2009.

SOUZA, O.; SCHULZ, M. A.; FISCHER, G. A. A.; WAGNER, T. M.; SELLIN, N. Energia alternativa de biomassa: bioetanol a partir de casca e da polpa de banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 915-921, 2012.

TEIXEIRA, R. F. F. Compostagem. In: HAMMES, V. S. (Org.). **Educação ambiental para o desenvolvimento sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p. 120-123.

TOCK, J. Y.; LAI, C. L.; LEE, K. T.; TAN, K. T.; BHATIA, S. Banana biomass as potential renewable energy resource: a Malaysian case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 798-805, 2010.

VEGRO, C. L. R.; CARVALHO, F. C. Disponibilidade e utilização de resíduos gerados no processamento agroindustrial do café. **Informações Econômicas**, v. 24, p. 9-16, 1994.

WATTHIER M. **Substratos orgânicos**: caracterização, produção de mudas e desenvolvimento à campo de alface e beterraba e influência na atividade enzimática. 2016. 144 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ZHANG, P.; WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N.; HAMAKER, B. R. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility – a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 59, p. 443-458, 2005.

ZUCCONI, F.; BERTOLDI, M. Composts specifications for the production and characterization of composts from municipal solid waste. In: BERTOLDI, M. de; FERRANTI, M. P.; L'HERMITE, P.; ZUCCONI, F. (Eds.). **Compost**: production, quality and use. Londres: Elsevier, p. 30-50, 1987.