



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E  
AMBIENTAL**

**SARA PEREIRA DE SOUZA**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE DIFERENTES BIOCOMPOSTOS A  
PARTIR DE RESÍDUOS AVÍCOLAS E VINÍCOLAS**

**JUAZEIRO-BA**

**2020**

**SARA PEREIRA DE SOUZA**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE DIFERENTES BIOCOMPOSTOS A  
PARTIR DE RESÍDUOS VINÍCOLAS E AVÍCOLAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro-Ba, como requisito para obtenção do título de bacharela em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador (a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Miriam Cleide Cavalcante de Amorim.

**JUAZEIRO-BA**

**2020**

S729p Souza, Sara Pereira  
Produção e caracterização de diferentes biocompostos a partir de resíduos avícolas e vinícolas / Sara Pereira de Souza. – Juazeiro-BA, 2020.  
xiv, 61f.: il.; 29 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, Juazeiro-BA, 2020.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Miriam Cleide Cavalcante de Amorim.

Inclui referências.

1. Resíduos Agrícolas. 2. Resíduos agropecuários. 3. Compostagem. 4. Adubo Orgânico. I. Título. II. Amorim, Miriam Cleide Cavalcante de. III Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 628.746

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E**  
**AMBIENTAL**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**  
**SARA PEREIRA DE SOUZA**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE DIFERENTES BIOCOMPOSTOS A**  
**PARTIR DE RESÍDUOS AVÍCOLA E VINÍCOLA**

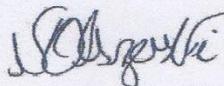
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Aprovado em: 04 de dezembro de 2020.

**Banca Examinadora**

Miriam Cleide Cavalcante de Amorim

(Miriam Cleide Cavalcante de Amorim, Doutora, UNIVASF).



(Neici Olszevski, Doutora, UNIVASF).

Paula Tereza de Souza e Silva

Assinado em: 04 de dezembro de 2020 por Paula Tereza de Souza e Silva  
Data: 2020.12.04 14:17:28 -02'00'

(Paula Tereza de Souza Silva, Doutora, EMBRAPA Semiárido).

À Deus por ter me permitido chegar até aqui, aos meus pais Suely e Odair, ao meu irmão Davi e a todos que fizeram parte dessa trajetória.

## AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me permitido chegar até aqui, por ter me dado forças para continuar, apesar de muitas vezes ter tido a vontade de desistir.

À Prof. Dra. Miriam Cleide Cavalcante de Amorim, pela excelente orientação, dedicação e apoio a esse trabalho pelos seus ensinamentos e sugestões sempre pertinentes.

Ao FNDE e PET Conexões e Saberes Saneamento Ambiental, pela bolsa concedida e pelo apoio na realização desse trabalho.

Ao Laboratório de Engenharia Ambiental da UNIVASF, por ter ajudado com esse trabalho, em especial à técnica Damiana Rodrigues, que me ensinou muito e me auxiliou com os equipamentos e análises ensinando tudo o que sabia, seu esforço e dedicação serão sempre lembrados, aos amigos do PET.

Aos Laboratórios de Física e Química dos Solos, Laboratório de Construções Rurais e Ambiência, Laboratório de Ciência dos Materiais e à EMBRAPA Semiárido, por terem disponibilizado os equipamentos para a realizações das análises.

À Industria Vitivinícola Quintas de São Braz e à Professora Sílvia Turco por disponibilizarem os resíduos para a realização do experimento.

À UNIVASF, por ter me proporcionado tornar uma profissional na área de engenharia, e aos professores do Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental por terem repassado todo o conhecimento e as vivências adquiridas.

Aos colegas da turma, especialmente: Raiane, Toninho, Sabrina, Wotson, Késsia, Sarah Leila e Igor que estiveram ao meu lado em algum momento dessa jornada.

À Amélia, Eduardo, Janielle e Patrícia, meus amigos do mestrado em Engenharia Agrícola que sempre estiveram por perto e ajudaram-me no que precisei.

Aos meus pais Suely e Odair por sempre terem investido na minha educação e sempre acreditaram num futuro melhor, ao meu irmão Davi, e a todos os familiares.

Aos bons professores que tive durante toda a minha vida, desde o maternal até a graduação. E a todos que de alguma forma partilharam desse sonho, por fim aos componentes da Banca Examinadora pelas suas sugestões para a melhoria deste trabalho.

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu.” - Eclesiastes 3:1

## RESUMO

A agroindústria e a agropecuária são importantes setores da economia para o Brasil, sobretudo no Vale do São Francisco onde a viticultura é uma atividade pujante, bem como a criação de galinhas caipiras por pequenos agricultores. Essas atividades geram resíduos sólidos em todas as etapas do seu processo produtivo como bagaços e sementes de uva e a cama de frango. Em função disso, a Política Nacional de Resíduos Sólidos exige que tenham destinação final ambientalmente adequada, pois, se dispostos de forma inapropriada podem contaminar o solo e os recursos hídricos. A compostagem é uma dessas alternativas de disposição, por meio da qual as características físico-químicas dos resíduos são transformadas, a fim de obter ao final do processo um biocomposto estabilizado rico em nutrientes que pode ser utilizado como um fertilizante orgânico, substituindo os adubos convencionais. Portanto, o objetivo desse trabalho, foi a produção de diferentes biocompostos a partir da compostagem de resíduos vinícolas (bagaço de uva, sementes e engaços) e da cama de frango, avaliando as características físico-químicas e microbiológicas dos compostos obtidos. Os biocompostos foram obtidos a partir de três diferentes tipos de misturas e proporções dos resíduos: P1= resíduo vinícola + serragem (1:1), P2 = resíduo vinícola + serragem + cama de frango (1:1:1) e P3= resíduo vinícola + serragem + cama de frango (1:1:2), dispostos em forma de pilhas. O processo de compostagem teve duração de 120 dias, sendo avaliados no campo os seguintes indicadores: relação C/N, temperatura, umidade e pH. Já nos biocompostos foram analisados os elementos: fósforo, potássio, cálcio, sódio, metais (Mg, Ni, Pb, Cr, Cu, Zn, Fe, Al) e também a parte microbiológica (Ovos Viáveis de Helmintos e Coliformes Termotolerantes). Além dessas análises foi realizado, o estudo morfológico desses biocompostos por Microscopia Eletrônica de Varredura. Os resultados mostraram que as características de cada biocomposto se enquadraram na Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009 (MAPA). Em relação as análises de: pH, umidade, relação C/N, Ca, Mg, K, P, C, N, Ni, Pb, Cr, Cu, Zn, Fe, Na e Al, o biocomposto B3 proveniente da pilha P3, apresentou um nível adequado de estabilidade e maturidade, com teores elevados de nutrientes. Conclui-se que a compostagem do resíduo vitivinícola com cama de frango é uma alternativa de destinação final ambientalmente adequada para esses resíduos.

**Palavras-chave:** Agrossilvopastoril. Cama de frango. Nutrientes. Resíduo Vinícola

## ABSTRACT

Agribusiness and agriculture are important sectors of the economy for Brazil, especially in the São Francisco Valley where viticulture is a thriving activity, as well as the raising of free-range hens by small farmers. These activities generate solid waste at all stages of its production process, such as grape marc and seeds and chicken litter. As a result, the National Solid Waste Policy requires that they have an environmentally appropriate final destination, because, if disposed of inappropriately, they can contaminate the soil and water resources. Composting is one of those disposal alternatives, through which the physical-chemical characteristics of the waste are transformed, in order to obtain at the end of the process a stabilized biocompost rich in nutrients that can be used as an organic fertilizer, replacing conventional fertilizers. Therefore, the objective of this work was the production of different biocomposites from the composting of wine residues (grape marc, seeds and stems) and chicken litter, evaluating the physical-chemical and microbiological characteristics of the compounds obtained. The biocomposites were obtained from three different types of mixtures and proportions of the residues: P1 = wine residue + sawdust (1: 1), P2 = wine residue + sawdust + chicken litter (1: 1: 1) and P3 = residue winery + sawdust + chicken litter (1: 1: 2), arranged in the form of piles. The composting process lasted 120 days, with the following indicators being evaluated in the field: C / N ratio, temperature, humidity and pH. In the biocomposites, the elements were analyzed: phosphorus, potassium, calcium, sodium, metals (Mg, Ni, Pb, Cr, Cu, Zn, Fe, Al) and also the microbiological part (Viable Eggs of Helminths and Thermotolerant Coliforms). In addition to these analyzes, the morphological study of these biocomposites was performed by Scanning Electron Microscopy. The results showed that the characteristics of each biocomposite fit into Normative Instruction No. 25 of July 23, 2009 (MAPA). Regarding the analyzes of: pH, humidity, C / N, Ca, Mg, K, P, C, N, Ni, Pb, Cr, Cu, Zn, Fe, Na and Al ratio, the B3 biocomposite from the P3 cell, presented an adequate level of stability and maturity, with high levels of nutrients. It is concluded that the composting of the wine residue with chicken litter is an alternative of final destination environmentally suitable for these residues.

**Key-words:** Agrosilvopastoril. Chicken Bed. Nutrients. Wine Residue.

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 -	Resíduo Vinícola	26
Figura 2 -	Aviário experimental com galinhas da linhagem pesadão	27
Figura 3 -	Pilhas de Compostagem: P1, P2 e P3	29
Figura 4 -	Temperaturas médias semanais (°C) das pilhas: P1, P2 e P3 ao longo do processo de compostagem	32
Figura 5 -	Pilhas de compostagem P1, P2 e P3 e suas respectivas imagens termográficas na fase mesófila	33
Figura 6 -	Pilhas de compostagem P1, P2 e P3 e suas respectivas imagens termográficas na fase termófila	34
Figura 7-	Teor de umidade em P1, P2 e P3 ao longo do processo de compostagem	36
Figura 8-	Valores médios de pH em P1, P2 e P3, ao longo do processo de compostagem	38
Figura 9 -	Valores de relação C/N em P1, P2 e P3 ao longo do processo de compostagem	39
Figura 10 -	Micrografia eletrônica de varredura do biocomposto B1	46
Figura 11 -	Micrografia eletrônica de varredura do biocomposto B2	47
Figura 12 -	Micrografia eletrônica de varredura do biocomposto B3	48
Figura 13 -	Espectro de EDS dos biocompostos B1(a), B2(b) e B3(c)	50

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 -	Metodologias das análises dos resíduos	28
Tabela 2 -	Composição físico-química do resíduo vinícola e da cama de frango	29
Tabela 3 -	Características dos biocompostos produzidos e valores de referência estabelecidos pelo MAPA	41
Tabela 4 -	Teores de metais encontrados nos biocompostos e valores mínimos estabelecidos pelo MAPA para uso direto no solo	43
Tabela 5 -	Avaliação microbiológica dos biocompostos produzidos	45

## LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Composição das pilhas de compostagem experimentais e os respectivos biocompostos	30
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAFRUTAS	Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados
APHA	American Public Health Association
B1	Biocomposto 1
B2	Biocomposto 2
B3	Biocomposto 3
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EDS	Espectroscopia de raios X por dispersão em energia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IN	Instrução Normativa
LEA	Laboratório de Engenharia Ambiental
MAPA	Ministério da Agricultura Agropecuária e Abastecimento
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
pH	Potencial Hidrogeniônico
P1	Pilha 1
P2	Pilha 2
P3	Pilha 3
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
UNIVASF	Universidade Federal do Vale do São Francisco

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3. REVISÃO</b> .....	<b>18</b>
3.1 RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS .....	18
<b>3.1.1 Resíduos Vinícolas</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1.2 Resíduos Avícolas</b> .....	<b>20</b>
3.2 O PROCESSO DE COMPOSTAGEM .....	22
<b>3.2.1 Biocomposto e legislação brasileira</b> .....	<b>25</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
4.1 LOCAL DO ESTUDO .....	26
4.2 SUBSTRATOS COMPOSTADOS .....	26
4.3 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ....	27
4.4 MONTAGEM DAS PILHAS DE COMPOSTAGEM .....	29
4.5 ANÁLISES PARA AVALIAR O PROCESSO DE COMPOSTAGEM E A QUALIDADE DO BIOCOMPOSTO .....	30
4.6 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) .....	31
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>31</b>
5.1 O PROCESSO DA COMPOSTAGEM .....	31
<b>5.1.1 Temperatura</b> .....	<b>31</b>
<b>5.1.2 Umidade</b> .....	<b>36</b>
<b>5.1.3 pH</b> .....	<b>37</b>
<b>5.1.4 Relação C/N</b> .....	<b>39</b>
5.2 CARACTERÍSTICAS DOS BIOCOMPOSTOS PRODUZIDOS .....	40

<b>5.2.1 Caracterização dos Biocompostos produzidos de acordo com a Legislação Brasileira .....</b>	<b>40</b>
<b>5.2.2 Avaliação Microbiológica .....</b>	<b>45</b>
5.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	46
5.4 ESPECTROSCOPIA DE RAIOS X POR DISPERSÃO EM ENERGIA (EDS) ....	49
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>7 REFERENCIAS.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor agrícola brasileiro, ao qual se inserem as atividades agroindustriais e agropecuárias, assume papel importante para o abastecimento de alimentos do país, e vem contribuindo nas suas mais variadas formas de produção, como culturas de subsistência, produção de frutas e legumes, criações de animais para produção de derivados, armazenagem e processamento de produtos (COSTA FILHO et al., 2017; SILVA & SILVA, 2016). Entretanto, todas essas atividades ligadas aos setores agrícola e agropecuário contribuem sistematicamente para a geração de grandes quantidades de resíduos, que se manejados de forma inadequada podem contaminar o solo, o ar e os corpos hídricos (PEDROSA et al., 2013).

Apesar de, os resíduos agropecuários apresentarem elevado potencial poluente, não podem ser considerados como rejeito, pois possuem valor econômico agregado e podem ser tratados e aproveitados no próprio setor agroindustrial (PEDROSA et al., 2013). A Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), trata como resíduos agrossilvipastoris, aqueles gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades, enquadrando-se nessa categoria os resíduos agrícolas e agroindustriais.

De acordo com dados da EMBRAPA (2020), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas com cerca de 45 milhões de toneladas ao ano, das quais 65% são consumidas internamente e 35% são destinadas ao mercado externo. A região do Submédio Vale do São Francisco concentra grande parte da produção nacional, devido ao sucesso dos projetos de irrigação. De acordo com dados da Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados - ABRAFRUTAS (2020), 98% das uvas de mesa exportadas pelo país saem do Vale do São Francisco, e vão para países da América, Europa, África e Ásia.

A uva, trata-se de uma cultura bastante diversificada, pois são produzidas tanto para consumo in natura (uva de mesa), quanto para a produção de vinhos e espumantes. O processamento para produção dessas bebidas contribui para a geração de resíduos em todas as suas etapas, sendo a borra e o bagaço os mais abundantes.

Além das grandes áreas agrícolas, a agricultura familiar também está presente no Vale do São Francisco, principalmente na criação de animais de pequeno porte, como é o caso das galinhas caipiras. Como toda atividade antrópica, mesmo em pequena escala, também gera resíduos que precisam ter tratamento adequado. A cama de frango é o principal resíduo proveniente dessa atividade.

Dentre as opções para um destino adequado dos resíduos gerados nas atividades agropecuárias e florestais, está o processo de compostagem. Sendo uma das mais antigas técnicas de tratamento biológico utilizado pelo homem, por ser uma técnica de menor complexidade e possuir baixo custo (RODRIGUES et al., 2015). Tem como resultado, ao final do processo de decomposição, um produto denominado “composto” ou “biocomposto”, que é rico em nutrientes e com potencial agrônômico como adubo orgânico ou fertilizante (HERMES, 2019).

Assim a compostagem de tais resíduos pode ser estudada como uma alternativa de destinação ambientalmente adequada seja para as agroindústrias de grande porte, como é o caso da indústria vinícola como para atividades agrícolas de menor porte, como a criação de galinhas caipiras.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Produzir e caracterizar três diferentes tipos de biocompostos a partir da compostagem de resíduos vinícolas e cama de frango.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a influência das proporções de cama de frango e de resíduos vinícolas no processo de compostagem;
- Monitorar o processo de compostagem por meio das principais variáveis estabelecidas na Resolução Nº 481/ 2017 do CONAMA;

- Avaliar a qualidade final dos biocompostos produzidos, verificando a conformidade de suas características com os padrões estabelecidos pela Instrução Normativa Nº 25/2009 do MAPA;
- Analisar a estrutura morfológica dos biocompostos por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e a composição química por meio de EDS a fim de detectar estruturas microscópicas e de lignina.

### 3. REVISÃO

#### 3.1 RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS

A agroindústria pode ser definida como as atividades relacionadas ao processamento de matérias-primas provenientes da agricultura, pecuária, aquicultura ou silvicultura visando a obtenção de produtos (VIANA & CRUZ, 2016). O processamento desses produtos acarreta na geração de subprodutos não utilizados na cadeia produtiva das indústrias, os denominados resíduos agroindustriais, também conhecidos como resíduos agropecuários (PEREIRA & GROTO, 2018).

Os resíduos agropecuários, normalmente incluem os subprodutos gerados durante o processamento industrial dos mais variados produtos agrícolas, por muitas vezes a esses resíduos são atribuídos pouco ou nenhum valor econômico. Entretanto, açúcares, fibras, proteínas e minerais fazem parte da composição desses resíduos, o que os tornam uma fonte alternativa de nutrientes (PANESAR et al., 2016). De acordo com ROSA et al. (2011) resíduos podem representar perda de biomassa e de nutriente, e contribuem para o aumento do potencial poluidor associado à disposição inadequada. Além da poluição de solos e de corpos hídricos quando da lixiviação dos biocompostos, podem acarretar problemas de saúde pública. O aproveitamento dos resíduos agropecuários, contribuem para minimizar esses problemas ambientais, como também agregam valor com o reaproveitamento sustentável desses resíduos.

Para aproveitar melhor os nutrientes contidos nesses resíduos agropecuários, muitos estudos vêm sendo realizados visando sua utilização na formulação de substratos, reduzindo o custo de produção com a compra de substratos comerciais, os quais são bastante utilizados pelos produtores (OLIVEIRA et al., 2018).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), os resíduos sólidos classificam-se quanto à origem, entre outros, em resíduos agrossilvipastoris, definindo-os como aqueles gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades. O setor agrossilvipastoril compreende então as atividades de agroindústrias associadas à agricultura, pecuária e florestal e os estabelecimentos geradores de tais resíduos são responsáveis pelo seu adequado manejo. A partir desse ponto trataremos esses resíduos como agropecuários.

Assim, os resíduos da vinicultura bem como a cama de frango oriunda da avicultura enquadram-se legalmente na definição de tais resíduos e estão sujeitos ao plano de gerenciamento de resíduos sólidos, a fim de prevenir impactos negativos ao meio ambiente, criando alternativas sustentáveis de transformação de resíduos em produtos com valor econômico e ambiental.

### **3.1.1 Resíduos Vinícolas**

O Vale Submédio São Francisco tem se destacado nas últimas décadas como um dos importantes centros exportadores de frutas no Brasil, com destaque para manga e uva. Essa elevada produção se dá sobretudo ao uso de tecnologia, principalmente na área de irrigação utilizando as águas do Rio São Francisco e ao melhoramento genético aliada às condições edafoclimáticas, que permitem o cultivo durante o ano todo (BRANCO & BARROS, 2017).

Para HORA et al. (2016) o primoroso desempenho dos vinhedos introduzidos no Semiárido nordestino, a partir da década de 1980, transformou o Vale do São Francisco numa nova fronteira capaz de expandir a vitivinicultura existente no mundo, por meio da produção de uvas e vinhos finos, tornando a região cada vez mais conhecida ganhando notoriedade no setor enológico brasileiro.

De acordo com NASCIMENTO FILHO & FRANCO (2015), em 2011, o Brasil produziu 1.463.481 toneladas da cultura, deste total 52,13% foi destinado à produção de vinhos, sucos e derivados. Porém, a uva é mais uma de tantas outras culturas que contribuem com a produção de resíduos agroindustriais e acumula um enorme potencial poluente. Seus resíduos apresentam alto conteúdo de fibras, flavonóides,

antocianinas, substâncias aromáticas, ácidos, taninos e microrganismos responsáveis pela fermentação do mosto (KARLING et al., 2017). Todas as etapas da produção de vinho geram resíduos, dentre estes, o bagaço da uva é o principal subproduto formado durante o processo, representando cerca de 20% do peso original das uvas, formado por 58% de cascas, 20% de engaços e 22% de sementes (NASCIMENTO FILHO & FRANCO, 2015).

Independentemente do tipo (tinto, rosé, espumante, branco), todos os vinhos seguem as seguintes etapas: recepção, desengace/esmagamento, prensagem, fermentação, decantação, trasfega, clarificação e engarrafamento. A maior produção de resíduos sólidos é gerada nos processos de desengace/ esmagamento, onde as bagas são separadas dos engaços (talos) e na prensagem, onde as bagas são esmagadas para obtenção do mosto que será utilizado na produção do vinho (GUERRA et al., 2005). O bagaço, que é constituído pelas cascas, sementes e engaço resultantes dessa etapa são considerados resíduos, já que não possuem utilização comercial. Assim, se esses resíduos forem dispostos de forma inadequada podem ocasionar sérios danos ambientais (GUERRA et al., 2005).

### **3.1.2 Resíduos Avícolas**

Além da produção de frutas, o Submédio Vale do São Francisco, tem na produção pecuária outra de suas atividades rurais de destaque, com a criação de ovinos, caprinos e aves. Essas atividades são fontes geradoras de resíduos ocasionando preocupação na gestão adequada em relação ao descarte dos excrementos produzidos pelos animais. Na avicultura, ocorre a geração de grandes quantidades de esterco em forma de cama, a preocupação ambiental com o potencial poluidor desse resíduo deve ser considerada, com a elaboração de alternativas para sua reutilização.

Apesar de, o nordeste brasileiro representar uma pequena parcela da avicultura em escala comercial, essa atividade se concentra principalmente em pequenos produtores da agricultura familiar, com a criação de galinhas caipiras. É considerada prática importante para a agricultura familiar, fazendo parte da cultura e tradição de muitas famílias. Esse tipo de galinha é manejado de forma rústica, sendo criadas nos terreiros e quintais no entorno das casas, com o intuito de fornecer ovos e carnes para

o consumo das famílias e fornecimento em pequenas quantidades para compradores locais (SAMPAIO et al., 2015). Alguns produtores com o interesse em produzir mais, melhoram seus sistemas de condução, melhorando a alimentação desses animais e as instalações e, com isso propiciando um melhor conforto térmico com resultados em produtividades mais elevadas.

A criação de galinhas caipiras é uma atividade cujo mercado vem crescendo, visto que, comumente, a oferta desse produto é menor do que a demanda, principalmente para o preparo pratos típicos da culinária regional (SAGRILO et al., 2020). Essa forma de criação necessita de pequeno espaço, podendo ser desenvolvida inclusive em centros urbanos com o uso de quintais produtivos, servindo tanto de alimento como também de complementação da renda familiar (RAIMUNDO et al., 2018).

Porém, tanto na avicultura tradicional, quanto os pequenos produtores produzem uma quantidade considerável de resíduo, sendo o principal a cama de aviário. Trata-se do material disposto sobre o piso das instalações para os animais e, geralmente é composto por serragem, maravalha, palha de arroz, etc. evita desse modo o contato da ave com o piso. Ou seja, além do material que compõe a cama, esta ainda é enriquecida por restos de ração, penas e fezes e, por esse motivo possui, alta carga microbiana e parasitária (METZNER et al., 2015).

Tais resíduos possuem potenciais poluidores tanto para as águas superficiais quanto para as subterrâneas. Podem promover o aumento dos nutrientes minerais, das substâncias orgânicas que demandam oxigênio, dos materiais em suspensão e ainda realizar a difusão de microrganismos patogênicos nos corpos hídricos. Além disso, há a emissão de gases como a amônia ( $\text{NH}_3$ ), a exalação de odores e a liberação de pós como materiais particulados à atmosfera (LIMA, 2017).

O impacto causado pela avicultura ao meio ambiente varia de acordo com o sistema de produção. Certamente a avicultura alternativa gera bem menos impactos do que a avicultura industrial, pois trabalha com uma escala de produção menor e com instalações mais simples, porém deve-se incentivar os criadores de galinha caipira a destinarem corretamente os resíduos sólidos (RAIMUNDO et al., 2018).

Numa propriedade rural, é importante priorizar a organização de uso de todos os resíduos agropecuários gerados. O aproveitamento de todos esses resíduos no próprio local, além de contribuir para a redução do acúmulo na forma de lixo, pode elevar a fertilidade das áreas de plantio e reduzir a perda de água por evaporação, sobretudo os de origem orgânica. Esses revelam-se promissores ao aproveitamento, devido ao potencial de formulação de insumos que serão diretamente aplicados ao campo como adubos, substratos, fertilizantes ou mesmo como fontes energéticas aproveitáveis (SILVA et al., 2016; SANTOS et al., 2018).

### 3.2 O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

A utilização de resíduos agropecuários como fertilizante orgânico através da técnica de compostagem é uma prática muito comum em propriedades de agricultores familiares e tem elevada importância para a construção da fertilidade do solo. A utilização de biocompostos melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo. Além disso, o reaproveitamento dos resíduos possibilita estabelecer sistemas sustentáveis de produção, reduzindo os impactos ambientais e custos de produção com fertilizantes, gerando economia de recursos financeiros, pois o mesmo pode aproveitar os materiais disponíveis na propriedade (SILVA & SILVA, 2016; METZNER et al., 2015).

Assim, diante da grande quantidade de resíduos gerados e da necessidade de uma destinação adequada desses materiais, a compostagem surge como uma solução simples, barata e eficaz para o problema. A conversão de resíduos biodegradáveis em matéria orgânica higienizada e estabilizada que pode ser usada como fertilizante na agricultura e em hortas domésticas melhora a qualidade química e física do solo, diminuindo gastos com fertilizantes comerciais e colaborando com a nutrição vegetal (FIGUEIREDO et al., 2019).

A compostagem é uma alternativa de destinação final ambientalmente adequada e prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) BRASIL, 2010) no Art. 3º inciso VII:

*“destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos”;*

A Resolução Nº 481/ 2017 do CONAMA, estabelece os critérios e os procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos. Tal resolução define os conceitos de compostagem e composto, respectivamente, em seu artigo 2º como:

*“III- compostagem: processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem”*

*“IV - composto: produto estabilizado, oriundo do processo de compostagem, podendo ser caracterizado como fertilizante orgânico, condicionador de solo e outros produtos de uso agrícola”*

De acordo com CASAGRANDE et al. (2017), o biocomposto produzido é formado por dois elementos, sendo um elemento rico em carbono presente nos resíduos secos e outro rico em nitrogênio presente nos resíduos úmidos. Dentre os elementos pobres em nitrogênio, temos: capim, aparas de grama seca, bagaço de cana, folhas secas, folhas de jornal, revistas, papel utilizado, serragem grossa e outros. Dentre os elementos rico em nitrogênio, temos: restos de frutas, verduras, borra de café, casca de ovo etc.

Conforme HERMES (2019), o processo de compostagem ocorre em três fases: a primeira é a fitotoxicidade, inicial e rápida, em que o biocomposto está cru ou imaturo essa fase é denominada mesófila. A segunda é a fase de bioestabilização ou termofílica, na qual acontece a degradação da matéria orgânica através da atividade microbiana, podendo apresentar temperaturas superiores a 60 °C. A terceira é a chamada humificação ou maturação, que vem acompanhada pela mineralização dos componentes orgânicos, com diminuição da temperatura para em média 30 °C.

Dentre os tipos de compostagens existentes, a compostagem por pilha é o processo mais indicado para quem possui espaço, tempo e condições financeiras inferiores, pois consiste em disponibilizar os resíduos sólidos úmidos e secos dispostos em camadas alternadas na proporção de 3 camadas (seco) x 1 camada (úmido), diretamente no chão, tendo a duração de 90 a 120 dias (CASAGRANDE et al., 2017).

Ao final da compostagem, o produto obtido (composto orgânico ou biocomposto) pode ser manejado, estocado e aplicado como adubo orgânico ou utilizado como substrato, sem causar efeitos nocivos ao meio ambiente, desde que utilizado de maneira adequada.

Dentre os parâmetros físico-químicos, as variáveis que mais influenciam no processo de degradabilidade na compostagem e que devem ser monitoradas, de acordo com PROSAB (1999) são:

- a) **Aeração:** por se tratar de um processo aeróbio, o fornecimento de ar é vital à atividade microbiana, pois os microrganismos aeróbios têm necessidade de  $O_2$  para oxidar a matéria orgânica que lhes serve de alimento. Durante a compostagem, a demanda por  $O_2$  pode ser bastante elevada e a falta deste elemento pode se tornar um fator limitante para a atividade microbiana prolongando dessa forma, o ciclo de compostagem.
- b) **Temperatura:** a compostagem pode ocorrer tanto em regiões de temperatura termofílica (45 a 85 °C) como mesofílica (25 a 43 °C). Embora a elevação da temperatura seja necessária e interessante para a eliminação de microrganismos patogênicos, alguns pesquisadores observaram que a ação dos microrganismos sobre a matéria orgânica aumenta com a elevação da temperatura até 65° C, acima deste valor o calor pode limitar as populações aptas, havendo um decréscimo da atividade biológica. A temperatura é um fator indicativo do equilíbrio biológico, de fácil monitoramento e que reflete a eficiência do processo, podendo ser observada facilmente através da leitura de termômetros.
- c) **Umidade:** a água é fundamental para todas as formas de vida, inclusive a vida microbiana. No biocomposto o teor ótimo de umidade, de modo geral, situa-se entre 50 e 60%. Se o teor de umidade for inferior a 40% a atividade biológica é inibida, bem como a velocidade de biodegradação.
- d) **Relação C/N:** Os microrganismos necessitam de carbono, como fonte de energia e de nitrogênio para síntese de proteínas. Por esse motivo a relação C/N é considerada como fator que melhor caracteriza o equilíbrio dos substratos. Em uma situação considerada ideal a relação C/N inicial ótima do substrato deve se situar em torno de 30, porém em uma situação real esse valor varia de 20 a 70 de acordo com a biodegradabilidade do substrato compostado. A falta de um desses elementos limita a atividade microbiológica.

- e) **pH:** níveis de pH muito baixos ou muito altos reduzem ou até inibem a atividade microbiana. Em cada fase da compostagem o pH se comporta de uma maneira. No início da compostagem (fase mesófila) é marcado por uma queda sensível de pH, variando de 5,5 a 6,0, devido à produção de ácidos orgânicos. Quando a mistura apresentar pH próximo de 5,0 ocorre uma diminuição drástica da atividade microbiológica e o biocomposto não consegue passar para a fase termófila. A passagem à fase termófila é acompanhada de rápida elevação do pH, que se explica pela hidrólise das proteínas e liberação de amônia. Assim, normalmente o pH se mantém alcalino (7,5 - 9,0), durante a fase termófila.

### 3.2.1 Biocomposto e legislação brasileira

No Brasil, a Instrução Normativa Nº 25, de 23 de julho de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2009), estabelece os padrões de qualidade para fertilizantes orgânicos, bem como as definições e normas concernentes às especificações, garantias, tolerâncias, ao registro, à embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.

De acordo com essa Instrução Normativa (IN) no seu Art. 2º, os fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais serão classificados de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção em:

*“I- Classe A - fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura.”*

Para indicar formas de uso dos resíduos é fundamental conhecer sua composição física e química (RIBEIRO et al., 2019), por isso essa legislação se torna importante quanto a rotulagem e embalagens dos biocompostos produzidos em Classes A, B, C e D. De modo análogo, devem conter sua composição físico-química e satisfazer as especificações para biocompostos da classe A. A legislação atribui os valores de: umidade máxima de 50%, nitrogênio total mínimo de 0,5 %, carbono orgânico total mínimo de 15% relação C/N máxima de 20 e pH mínimo de 6,0. Tais exigências visam

estabelecer um padrão de qualidade desses biocompostos visando a preservação ambiental e a eficiência agronômica desses materiais.

A instrução normativa Nº 25, de 23 de julho de 2009 do MAPA, também dispõe de valores orientadores de qualidade de solo para prevenção de contaminação, quanto aos níveis de: níquel, cobre, zinco e ferro.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 LOCAL DO ESTUDO

O processo de compostagem foi conduzido na área experimental do Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, na Universidade Federal do Vale do São Francisco - Campus Juazeiro Bahia, localizado nas coordenadas geográficas: latitude 09° 24' S, longitude 40° 31' W e altitude de 371 m. O clima da região é classificado como BSh de acordo com a Köppen e Geiger, com temperatura média anual em torno de 24,8 °C e pluviosidade média anual em torno 422 mm.

### 4.2 SUBSTRATOS COMPOSTADOS

Como substratos foram utilizados resíduos do processamento da uva para produção de vinho e resíduo avícola, na forma de cama de frango. O resíduo vinícola foi proveniente da etapa de prensagem da uva que extrai o mosto (líquido) para produção de vinho, e oriundos da Vitivinícola Quintas de São Braz localizada em Petrolina-PE. O resíduo bruto foi constituído de casca, sementes e engaços (Figura 1). As uvas processadas foram de variedades distintas sendo as mais comuns BRS Violeta e Seibel.

**Figura 1-** Resíduo Vinícola.



Fonte: Autora

O resíduo avícola foi a cama de frango constituída por serragem, fezes das aves e restos de ração, obtido do aviário experimental, situado no espaço plural da UNIVASF- FACJU, Juazeiro-BA. A instalação com dimensões de 3 m X 6 m, e altura de 2,8 m, localizada no sentido Leste-Oeste (Figura 2), continha 100 galinhas da linhagem Pesadão, criadas em regime semi-intensivo onde as galinhas possuíam a liberdade de sair para pastoreio.

**Figura 2-** Aviário experimental com galinhas da linhagem pesadão.



Fonte: Autora

#### 4.3 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Antes do processo de compostagem, os resíduos foram caracterizados por meio de análises físico-químicas, de nutrientes e microbiológicas (Coliformes e Ovos viáveis de helmintos), em triplicata, segundo metodologias propostas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012) e Manual de Métodos Analíticos Oficiais Para Fertilizantes e Corretivos/ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2017) (Tabela 1).

**Tabela 1-** Metodologias das análises dos resíduos.

Parâmetros Físicos e Químicos	Unidade	Metodologia
pH	-	Método Potenciométrico
Umidade(U)	%	Método Gravimétrico
Cálcio (Ca)	g Kg <sup>-1</sup>	Método do EDTA
Magnésio (Mg)	g Kg <sup>-1</sup>	Método do EDTA
Sódio (Na)	ppm	Método de Fotometria de Chama
Potássio (K)	ppm	Método de Fotometria de Chama
Nitrogênio total (N)	%	Método Kjeldahl
Fósforo(P)	g Kg <sup>-1</sup>	Método Colorimétrico
Sólidos Totais	g/g	Método Gravimétrico
Sólidos Fixos	g/g	Método Gravimétrico
Sólidos Voláteis	g/g	Método Gravimétrico
Carbono Total (C)	%	Método da Mufla
<b>Substâncias Contaminantes</b>		
Metais Pesados	mg Kg <sup>-1</sup>	Método de Espectrometria de Absorção Atômica
<b>Microbiológicas</b>		
Coliformes Termotolerantes	NMP g <sup>-1</sup>	Método dos Tubos
Ovos Viáveis de Helmintos	-	Método de FAUST

Os teores totais de substâncias contaminantes como níquel, chumbo, cromo, cobre, ferro, manganês e zinco foram analisados pelo método de espectrometria de absorção atômica com atomização por chama de ar-acetileno no comprimento de onda específica para cada elemento químico analisado. Para tal, foi utilizado o aparelho da marca Perkin Elmer, modelo Analyst 100; alumínio por titulometria segundo APHA (2012).

As características dos resíduos estão dispostas na Tabela 2, observando-se que o alto teor de umidade (68,37%) é adequado para garantir um processo de compostagem eficiente quanto ao consumo de oxigênio.

**Tabela 2-** Composição físico-química do resíduo vinícola e da cama de frango.

Parâmetros	Resíduo vinícola	Cama de frango
pH	3,72	8,02
Umidade (%)	68,37	20,01
Ca <sup>2+</sup> (g Kg <sup>-1</sup> )	2,43	8,86
Mg <sup>2+</sup> (g Kg <sup>-1</sup> )	16,73	13
Na <sup>+</sup> (ppm)	2,20	49,7
K <sup>+</sup> (ppm)	138,20	145
N total (%)	2,18	3,43
P (g Kg <sup>-1</sup> )	542,98	2870,27
Sólidos Totais (g/g)	0,473	0,82
Sólidos Fixos (g/g)	0,064	0,25
Sólidos Voláteis (g/g)	0,409	0,57
Carbono Total (%)	44,89	43,96
Relação C/N	20,59	12,81
Coliformes Termotolerantes (NMP g <sup>-1</sup> )	0	1,2 x10 <sup>7</sup>
Ovos Viáveis de Helmintos	Ausente	Ausente

#### 4.4 MONTAGEM DAS PILHAS DE COMPOSTAGEM

O processo de compostagem foi realizado por meio da montagem de três pilhas (P1, P2 e P3) em piso de concreto, com dimensões de 1,0 m de comprimento por 1,0 m de largura e 1,0 m de altura (Figura 3), seguindo critérios da Resolução 481/2017 do CONAMA.

**Figura 3-** Pilhas de Compostagem: P1, P2 e P3.

Fonte: Autora

As pilhas de compostagem foram montadas com diferentes proporções entre dois tipos de resíduos e serragem, de acordo com a descrição no Quadro 1 e as respectivas relações C/N iniciais. Ao fim do processo foram obtidos os biocompostos B1, B2 e B3 referentes às pilhas P1, P2 e P3.

**Quadro 1** - Composição das pilhas de compostagens experimentais e os respectivos biocompostos.

Pilha	Proporções de resíduos e material	Relação C/N	Biocompostos
P1	Resíduo Vinícola + Serragem (1:1)	30/1	B1
P2	Resíduo Vinícola + Serragem + Cama de Frango (1:1:1)	38/1	B2
P3	Resíduo Vinícola + Serragem + Cama de Frango (1:1:2)	40/1	B3

Fonte: Autora

#### 4.5 ANÁLISES PARA AVALIAR O PROCESSO DE COMPOSTAGEM E A QUALIDADE DO BIOCUMPOSTO

O tempo de duração da compostagem foi de 120 dias, período necessário para que o biocomposto apresentasse temperatura no interior da pilha semelhante à medida no ambiente (25°C média da temperatura do período). As pilhas foram cobertas com lona plástica e a cada três dias foi realizado o revolvimento manual com auxílio de pá, para manutenção da aeração.

As análises realizadas durante o processo de compostagem foram: umidade, temperatura, relação C/N e pH. A umidade foi mantida nas pilhas adicionando-se água com auxílio de mangueira e, a temperatura foi medida com uso de termômetro. Nas primeiras semanas com frequência semanal, foram realizadas imagens termográficas com câmera térmica Flir, Modelo T420, resolução de 640 x 480, resoluções térmicas com Ultramax acima de 1.2 MP, sensibilidade de <0,02 °C e, medição de temperatura até 2.000 °C (Empresa Termovisor Brasil, Campinas SP, Brasil).

Quinzenalmente foram retiradas amostras para realizar análises de: umidade, pH e relações C/N, para garantir uma amostragem representativa, dessas amostras foram selecionadas três secções longitudinais retiradas aleatoriamente a partir de diferentes partes de cada tratamento, e depois as amostras da mesma pilha foram misturadas para homogeneizar.

Para verificação da qualidade final dos biocompostos obtidos foram realizadas análises de pH, umidade, relação C/N, Ca, Mg, K, N, C, P, Na, Fe, Zn, Mn e Cu. Quanto aos aspectos microbiológicos foram avaliados Ovos Viáveis de Helmintos e Coliformes Termotolerantes, conforme metodologia APHA (2012) e Manual de Métodos Analíticos Oficiais Para Fertilizantes e Corretivos/ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2017), descritas na Tabela 1.

#### 4.6 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Com a finalidade de avaliar morfologicamente os biocompostos, verificando a presença de estruturas microbiológicas e de lignina, amostras de cada um foram submetidas a microscopia eletrônica de varredura, em Microscópio Eletrônico de Varredura VEGA3 TESCAN. Cada amostra foi coberta com uma camada de ouro de 20 nm de espessura, no Sputter Quorum Modelo Q 150R ES, com corrente de 15 mA e tempo de metalização de 90 segundos. Ainda foi acoplado a um microanalisador de Espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDS), para identificação percentual dos elementos constituintes oxigênio, silício, cálcio, alumínio, ferro, magnésio e potássio.

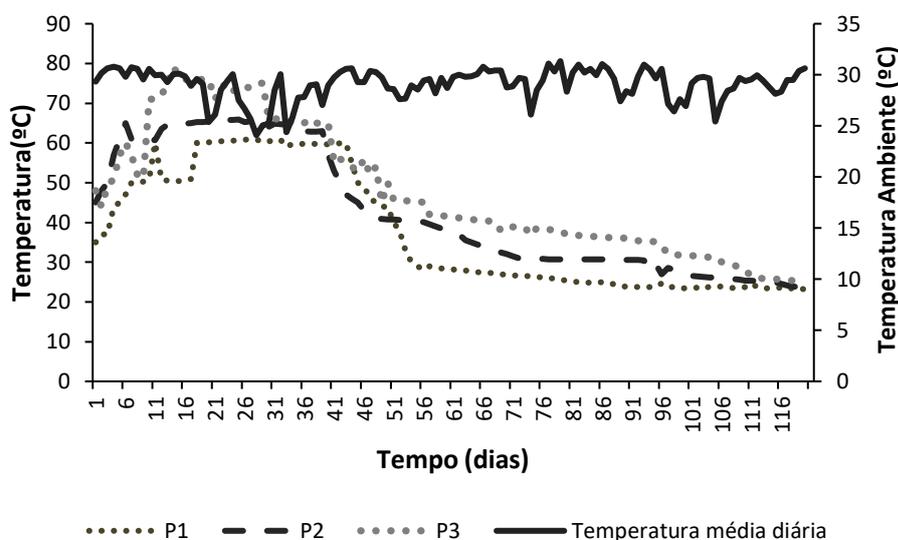
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 O PROCESSO DA COMPOSTAGEM

#### 5.1.1 Temperatura

O padrão de mudanças de temperatura através do tempo foi semelhante em todas as pilhas, como pode ser visualizado na Figura 4.

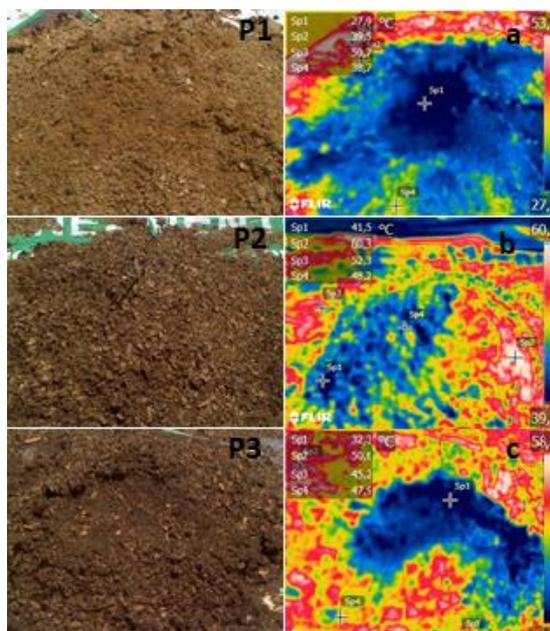
**Figura 4-** Temperaturas médias semanais (°C) das pilhas: P1, P2 e P3 ao longo do processo de compostagem.



Na P1, a temperatura aumentou de 35° C no início da compostagem (dia 1) até um máximo de 60° C (dia 11). Nas P2 e P3 as temperaturas foram muito similares no dia 1, sendo de 45° C e 48° C para P2 e P3 respectivamente, chegando a um pico de 65° C, no dia 17 para a P2 e 79° C para a P3, no dia 14. De acordo com a Resolução 481/2017 do CONAMA no seu Art. 5°, para garantir a qualidade ambiental do biocomposto, a temperatura deve ser medida diariamente e em sistemas abertos deve ficar entre 55°-70° C durante as primeiras semanas, garantindo o período termofílico mínimo necessário para a redução de agentes patogênicos.

As Figuras 5 e 6 apresentam as imagens termográficas das pilhas demonstrando o padrão de temperatura durante as fases mesófila e termófila. A fase mesófila, ocorre no início da compostagem, já a fase termófila precede a fase mesófila.

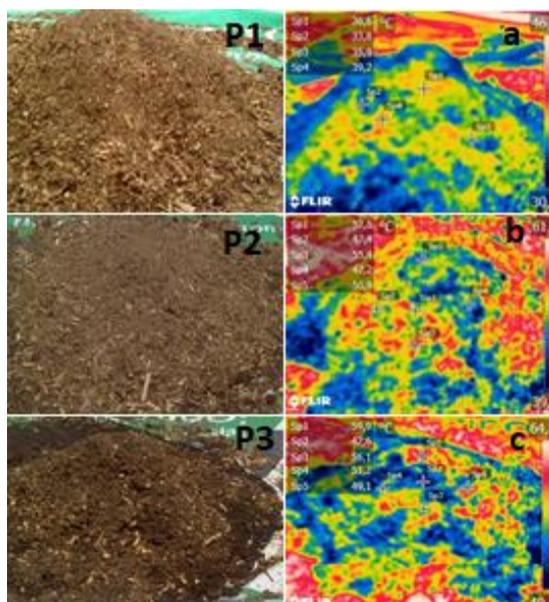
**Figura 5-** Pilhas de compostagem P1, P2 e P3 e suas respectivas imagens termográficas na fase mesófila.



Fonte: Autora

Nas imagens termográficas obtidas durante a fase mesófila é possível observar que as temperaturas estavam mais baixas e concentraram-se no centro das pilhas, no modelo de câmera utilizado as temperaturas mais baixas correspondem as tonalidades azul e verde (Figura 5). Esse padrão é comum nos sistemas de compostagem, pois a fase mesófila indica o início da atividade microbiológica, nessa fase a população de microrganismos que degradam a matéria orgânica são poucos e estão começando a aumentar, como a quantidade de microrganismos trabalhando é menor, as temperaturas ainda encontram-se baixas.

**Figura 6-** Pilhas de compostagem P1, P2 e P3 e suas respectivas imagens termográficas na fase termófila.



Fonte: Autora

Na fase termófila (Figura 6), foi observado o oposto. As temperaturas foram elevadas e estavam distribuídas em diversos pontos das pilhas. Nessa fase ocorre um aumento das populações de microrganismos que degradam o substrato de forma mais rápida, essas populações tendem a espalhar-se ao longo das pilhas, a intensidade de degradação maior reflete no aumento das temperaturas. A câmera utilizada representa as temperaturas mais elevadas nas tonalidades vermelho, amarelo e laranja.

Constatou-se através das imagens termográficas obtidas, que os valores de temperatura registrados na câmera foram semelhantes aos obtidos nos termômetros utilizados para construção do gráfico da Figura 4. As imagens termográficas obtidas assemelham-se com os de BARROS (2020), em trabalho com resíduo vinícola e esterco de ovinos, o autor também observou a diferença entre essas fases o qual atribui ao fato do material utilizado na composição das pilhas possuir, alto teor de matéria orgânica decomponível favorecendo as atividades microbianas aeróbias

A P1, composta apenas por resíduos vinícolas, foi a pilha que apresentou os menores valores de temperatura durante todo o processo. BUSTAMANTE et al. (2012), utilizando apenas podas de videira como resíduo de compostagem, não ob-

servaram temperaturas superiores a 50° C. Porém, ao adicionar excrementos de galinha, os autores observaram aumento nessas temperaturas. Similar ao encontrado neste trabalho, pois nas P2 e P3 foi verificado que a aplicação de cama de frango permitiu que as temperaturas atingissem cerca de 70° C.

As temperaturas mais altas foram observadas na P3 (Figura 6c). Nesta, foi adicionada uma proporção maior de cama de frango, seguida pela P2 (Figura 6b). COTTA et al. (2015), afirmam que a primeira etapa do processo, corresponde a termoequilização dos resíduos, indicando a atividade de bactérias e fungos termofílicos na degradação dos resíduos que reflete no aumento da temperatura.

Os resultados indicam que a presença do resíduo avícola nas pilhas P2 e P3 contribuiu para o aumento da temperatura. De acordo com PROSAB (1999), a temperatura é um dos parâmetros mais importantes no processo de compostagem, pois está diretamente relacionada à atividade bioquímica na matéria compostada. O calor verificado nas pilhas é proveniente das reações envolvidas nos processos de anabolismo e catabolismo celular. A temperatura é um fator indicativo do equilíbrio biológico, de fácil monitoramento e que reflete a eficiência do processo. Aliado a isso, altas temperaturas atingidas durante a compostagem podem limitar a sobrevivência de microrganismos patogênicos.

Os perfis de temperatura descrevem claramente as fases dos processos de compostagem, mostrando que em todos os tratamentos a fase mesófila durou cerca de 2 semanas, seguida pela termófila com duração de aproximadamente 4 semanas (Figura 4). A fase termófila é importante pois permite a decomposição e degradação dos resíduos orgânicos pois, temperaturas mais elevadas produzem uma degradação mais rápida dos resíduos. Além disso, a temperatura proporciona uma taxa adequada de compostagem influenciando a população microbiana e as atividades enzimáticas (PARADELO et al., 2013; SALGADO et al., 2019).

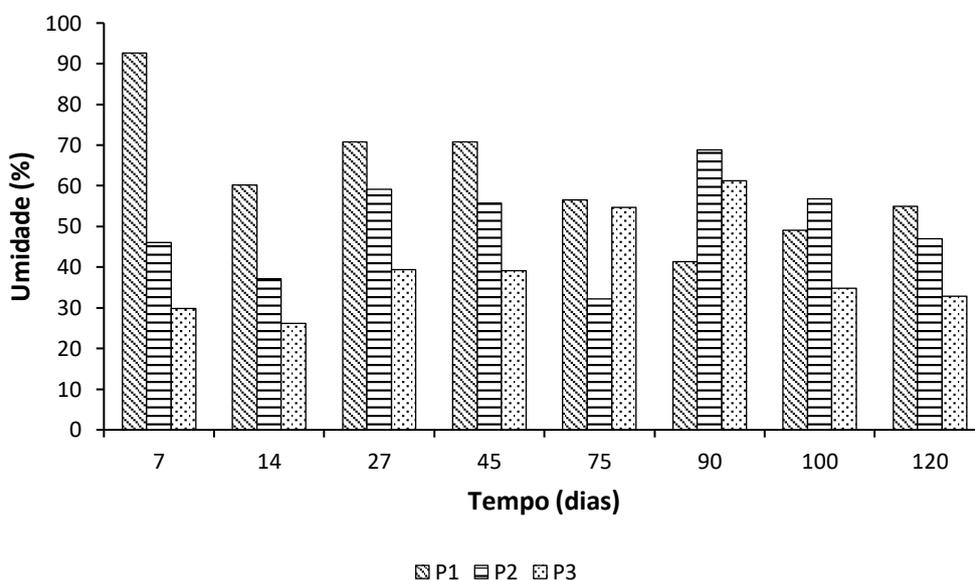
Comportamentos semelhantes foram observados por PINTER et al. (2019), em que as pilhas de compostagem produzidas com bagaço de uva atingiram cerca de 50 °C. Os autores observaram, também, a presença das fases mesofílica e termofílica, com posterior estabilização da temperatura até atingir a temperatura ambiente ao final da compostagem, que foi de aproximadamente 25° C. Diferente do encontrado por

esses autores, a temperatura final reduziu, mas não ficou igual à temperatura ambiente, isso porque a região do Vale do São Francisco apresenta temperaturas médias em torno de 27° C.

### 5.1.2 Umidade

O teor de umidade durante o processo variou bastante nas três pilhas seguindo diferentes perfis (Figura 7) e a temperatura ambiente média durante o período de compostagem ficou entre 25-30° C. Como a irrigação foi realizada diariamente, observou-se que a P1 (resíduo vinícola e serragem (1:1)), apresentou maior capacidade de retenção de água.

**Figura 7-** Teor de umidade em P1, P2 e P3 ao longo do processo de compostagem.



O teor de umidade do resíduo vinícola antes de compostado era de 68,37% (Tabela 2) resultado próximo ao encontrado por FERRER et al. (2000) de 73,56% trabalhando com resíduos vinícolas. De acordo com os autores esse teor de umidade elevado é fundamental para garantir um processo eficiente no consumo de oxigênio em resíduos vinícolas.

Na P1 o teor de umidade inicial foi elevado, sendo de 92,68% e, ao final do processo sofreu decréscimo, chegando a 55%, sendo a pilha que apresentou maior

redução desse parâmetro. A umidade é um dos fatores que deve ser frequentemente monitorado, pois o excesso retarda o processo e a escassez paralisa. Quando a umidade se encontra em condições adequadas, ocorre a troca de nutrientes através da membrana celular dos microrganismos que degradam a matéria compostada. Ou seja, a água é um veículo para o movimento de enzimas extracelulares e substratos solúveis, sendo o meio pelo qual ocorrem as reações químicas (RUGGERO et al., 2020).

De acordo com VALENTE et al. (2009), a umidade é indispensável para a atividade metabólica e fisiológica dos microrganismos. Para a compostagem a quantidade ideal varia entre 50 e 60% (PROSAB, 1999). Na primeira semana a pilha 1 ultrapassou esses valores, porém nas semanas seguintes ficou dentro da faixa considerada ideal.

A cama de frango contribui para o aumento do teor de matéria orgânica, e conseqüentemente, no aumento da capacidade de retenção de água pela P3, que recebeu maior proporção desse resíduo (SONG et al., 2015; GOSWAMI et al., 2017 apud GAO et. al., 2018).

De acordo com VALENTE et al. (2009), o excesso de umidade reduz a penetração de oxigênio na pilha, uma vez que a matéria orgânica decomposta é hidrófila, as moléculas de água se aderem fortemente à superfície das partículas, afetando as propriedades físicas e químicas do biocomposto. Caso ocorra redução de oxigênio na pilha, ocorre interferência também na temperatura do processo de compostagem, que é uma consequência da atividade metabólica dos microrganismos.

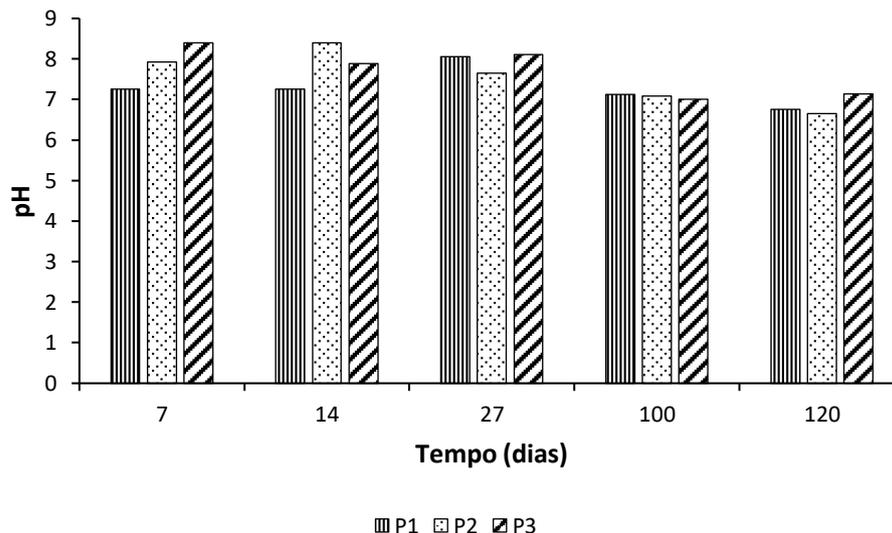
### 5.1.3 pH

O pH é um parâmetro químico importante pois exerce influência sobre a atividade microbiológica responsável pelo processo de decomposição dos resíduos. O pH do resíduo vinícola, antes do processo de compostagem, foi de 3,72 (Tabela 2) considerado adequado para o desenvolvimento de fungos em ambiente aeróbico (FERRER et al., 2000). PARADELO et al. (2013), também constataram pH ácido em resíduo vinícola e, de acordo com o autor isso ocorre devido ao metabolismo das bactérias lácticas e acéticas presentes no vinho, que transformam os carboidratos em

ácidos lácticos e acéticos. Como os microrganismos exercem sua atividade no processo de compostagem em valores de pH que podem variar de 3 a 11, essa faixa mais baixa, é considerada adequada.

Os valores médios de pH medidos no início da compostagem foram de 7,25; 7,93 e 8,40 para P1, P2 e P3 respectivamente (Figura 8). Ao final do processo, os valores medidos ficaram em 6,76; 6,65 e 7,14 para P1, P2 e P3 respectivamente. Foi observado que ao longo do processo esse padrão manteve-se constante não ocorrendo variações significativas (Figura 8). PINTER et al. (2019) utilizando bagaço de uva, esterco de cabra e folhas encontrou valores similares. Segundo os autores, a matéria-prima utilizada foi o fator que condicionou os valores de pH. Em outros trabalhos como os de SALGADO et al. (2019), PARADELO et al. (2013) e BARROS (2020) também se verificaram esse padrão.

**Figura 8-** Valores médios de pH em P1, P2 e P3, ao longo do processo de compostagem



Durante o processo de compostagem, o pH mínimo obtido foi de 6,65 na P2 e o máximo foi de 8,4 na P1. De acordo com ROUSK & BAATH (2011) a atividade microbiana é mais eficiente em torno do pH neutro. Os valores de pH obtidos durante o processo, são consequência da degradação de biocompostos ácidos e da matéria orgânica. A mineralização realizada pelos microrganismos modifica o pH para alcalino

e isto ocorre pela formação de íons refletindo nos sais solúveis presentes no substrato (BAZRAFESHAN et al., 2016; IDROVO-NOVILLO et al., 2018).

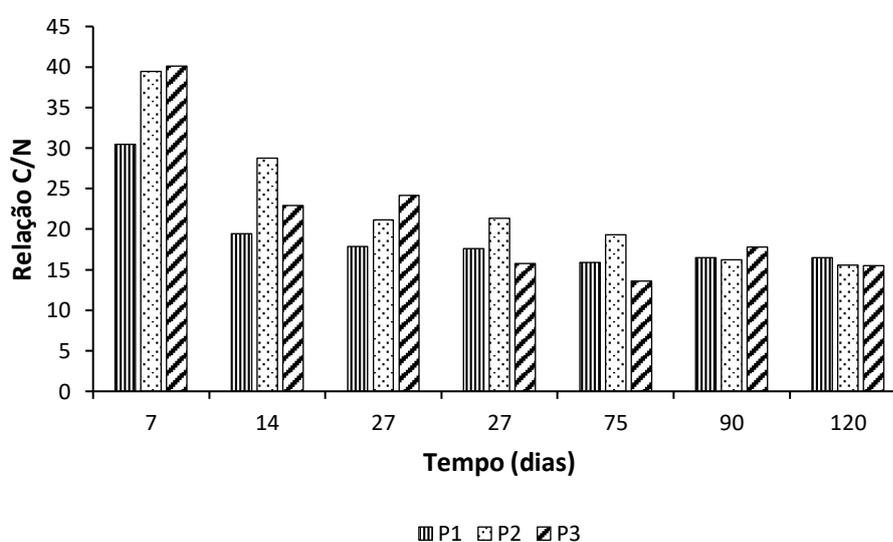
Os valores de pH mantiveram-se constantes durante todas as fases do processo de compostagem, sendo verificadas pequenas diferenças quantitativas entre estes (Figura 8). Essa pequena variação indica que a proporção dos resíduos utilizados nas pilhas não influenciou nesse parâmetro e que, o resíduo vinícola presente em todas as pilhas contribuiu para o ajuste de pH.

#### 5.1.4 Relação C/N

A relação C/N é um dos parâmetros que contribui para o sucesso da compostagem e, KIEHL (2004) afirma que no início do processo uma relação C/N entre 25:1 a 30:1 é considerada ótima e que, de 30:1 a 50:1 a decomposição ocorre de forma um pouco mais lenta, mas não limita o desenvolvimento da compostagem.

De acordo com a Figura 9, as relações C/N obtidas no início da compostagem foram de 30/1, 38/1 e 40/1, para P1, P2 e P3, respectivamente.

**Figura 9-** Valores de relação C/N em P1, P2 e P3 ao longo do processo de compostagem.



O comportamento da relação C/N foi diferente em todas as pilhas até aproximadamente a 10ª semana (Figura 9). Essa relação está fortemente associada à

atividade microbiana onde fungos e bactérias são os responsáveis pelo processo de degradação. Enquanto o C serve como uma fonte de energia para os microrganismos, o N é utilizado para formar aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, levando a mineralização da matéria orgânica, através de oxidação biótica e/ou abiótica (SALGADO et al., 2019; CALABI-FLOODY et al., 2019). Durante a compostagem, o nitrogênio orgânico é mineralizado e se transforma em amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), já o nitrogênio mineral pode ser liberado através de formas inorgânicas e reincorporado no metabolismo microbiano (ZHANG et al., 2013).

Ao longo do processo a relação C/N diminuiu consideravelmente chegando ao final com valores de 16,66/1; 15,39/1 e 15,64/1 para P1, P2, e P3, respectivamente. Esses resultados estão em consonância com a Resolução 481/17 do CONAMA, que determina ao final da compostagem uma relação C/N menor ou igual a 20:1.

Quando as relações C/N estão muito baixas ocorrem perdas significativas de N na forma de amônia e, quando essa relação está muito alta o processo pode ser prolongado. Por esse motivo o biocomposto deve ter um balanço da relação C/N favorável ao metabolismo dos organismos que vão efetuar sua biodigestão (COTTA et al., 2015).

Os resultados indicaram que as populações de bactérias heterotróficas e fungos estiveram presentes nas pilhas, indicando que a cama de frango e o resíduo vinícola são bons substratos para os microrganismos. Isso foi observado na redução da relação C/N ao longo do processo. Os resultados foram consistentes com os de MOHARANA & BISWAS (2016), WANG et al. (2014), IDROVO-NOVILLO et al. (2018), PARADELO et al. (2013) e BARROS (2020) em trabalhos com compostagem utilizando resíduos vegetais e esterco de animais.

## 5.2 CARACTERÍSTICAS DOS BIOCOMPOSTOS PRODUZIDOS

### 5.2.1 Caracterização dos Biocompostos produzidos de acordo com a Legislação Brasileira

A Instrução Normativa Nº 25 de 23 de julho 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em seu Art. 2º estabelece critérios para classificação

de fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais. Essa classificação ocorre em relação às matérias-primas utilizadas em sua produção e define 4 classes: A, B, C e D. Os biocompostos produzidos nesse experimento foram enquadrados na Classe A, pois em seu preparo foram utilizadas matéria-primas de origem vegetal, animal (cama de frango) e de processamento da agroindústria (resíduo vinícola). Nesse processo não foram utilizados metais pesados tóxicos e elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Na Tabela 3 estão descritas características químicas e microbiológicas dos biocompostos.

**Tabela 3-** Características dos biocompostos produzidos e valores de referência estabelecidos pelo MAPA.

Parâmetros	B1 <sup>(1)</sup>	B2 <sup>(2)</sup>	B3 <sup>(3)</sup>	Valores Referências
pH	6,76	6,65	7,00	> 6
Umidade (%)	55	47	33	< 50
N (%)	2,39	2,49	2,208	> 0,5
C (%)	39,92	38,40	34,55	> 15
Relação C/N	16,67	15,39	15,65	< 20/1
Ca (g Kg <sup>-1</sup> )	6,20	6,50	7,30	> 1
Mg (g Kg <sup>-1</sup> )	5,03	8,60	12,40	> 1
K (ppm)	37,20	44,00	185,50	Não especificado
P (g Kg <sup>-1</sup> )	67,13	157,374	205,136	Não especificado

<sup>(1)</sup>B1: Biocomposto resultante de Resíduo Vinícola + Serragem (1:1);

<sup>(2)</sup>B2: Biocomposto resultante de Resíduo Vinícola + Serragem + Cama de Frango (1:1:1);

<sup>(3)</sup>B3: Biocomposto resultante de Resíduo Vinícola + Serragem + Cama de Frango (1:1:2).

Os valores de pH para os três biocompostos (6,76; 6,65 e 7,00) atenderam aos limites estabelecidos pela IN N<sup>o</sup> 25 do MAPA que estabelece o valor mínimo de 6,0.

Com relação à umidade, B1 apresentou teor de 55%, sendo o único que não se enquadrou nos limites estabelecidos pela IN N° 25 do MAPA, isso se deve ao fato do biocomposto não conter nenhuma quantidade de cama de frango e o resíduo estruturante (serragem) ter facilidade em absorver água.

Os biocompostos apresentaram teores de N de 2,39%; 2,49% e 2,208% para B1, B2 e B3, respectivamente. Os teores estão dentro do valor mínimo exigido pela legislação que é de 0,50% para a Classe A. De acordo com COTTA et al. (2015) a composição e as propriedades físico-químicas da compostagem com resíduos sólidos vegetais, esterco e serragem de madeira em diferentes proporções aceleram em até 60% o desenvolvimento de bactérias, protozoários e outros microrganismos, inclusive bactérias fixadoras de nitrogênio.

Para carbono o valor recomendado deve ser superior a 15% e, os valores encontrados para B1, B2 e B3, respectivamente foram de 39,92%; 38,40% e 34,55 %. Ou seja, se enquadram na legislação vigente.

Consequentemente, os resultados de carbono e nitrogênio acarretaram numa relação C/N dentro da estabelecida na IN que deve ser inferior a 20/1. Os valores obtidos foram de: 16,67/1; 15,39/1 e 15,65/1, para B1, B2 e B3, respectivamente.

Com relação aos macronutrientes P, Ca, Mg e K, o B3 apresentou os maiores teores em relação aos demais.

De acordo com a Instrução Normativa N° 25 do MAPA (2009) os teores de Ca e Mg, não podem ser inferiores a 1. Como as concentrações encontradas para Ca nos três biocompostos foram: 6,20 g Kg<sup>-1</sup>; 6,50 g Kg<sup>-1</sup> e 7,30 g Kg<sup>-1</sup> para B1, B2 e B3, respectivamente e as concentrações encontradas para de Mg foram de 5,03 g Kg<sup>-1</sup>; 8,60 g Kg<sup>-1</sup> e 12,40 g Kg<sup>-1</sup> para B1, B2 e B3, respectivamente, conclui-se que o biocomposto atendeu as recomendações mínimas para esses nutrientes.

O elemento K foi encontrado nas quantidades de: 37,20; 44,00 e 185,50 para B1, B2 e B3, respectivamente, e não é limitado pela Instrução Normativa N° 25 do MAPA (2009).

Em relação ao elemento P, a legislação vigente não estabelece limites para a quantidade do macronutriente. Os biocompostos produzidos apresentam os seguintes valores: 67,13; 157,374 e 205,136, para B1, B2 e B3, respectivamente. PEREIRA (2019), em trabalho com biossólido para produção de mudas encontrou o valor de  $0,02 \text{ g kg}^{-1}$ , afirmando a utilização do mesmo, como fonte complementar de adubação fosfatada, pelo fato de ser um elemento exigido em altas quantidades pela maioria das plantas cultiváveis, bem como, um possível excesso desse elemento, dificilmente se caracteriza em toxidez.

Na Tabela 4 estão descritos os teores dos metais encontrados nos biocompostos produzidos.

**Tabela 4-** Teores de metais encontrados nos biocompostos e valores mínimos estabelecidos pelo MAPA para uso direto no solo.

Elementos químicos	Valor mínimo IN N° 25 MAPA	B1	B2	B3
Níquel ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	0,005	0,057	0,026	0,10
Cobre ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	0,05	0,050	0,22	0,33
Zinco (%)	0,1	0,222	0,433	1,211
Ferro (%)	0,2	0,015	0,07	0,082
Chumbo ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Não especificado	-	0,022	0,024
Cromo ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Não especificado	0,056	0,069	0,058
Sódio (ppm)	Não especificado	1,6	3	26,7
Alumínio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Não especificado	-	-	-

A instrução normativa N° 25, de 23 de julho de 2009 do MAPA, dispõe em seu Art. 6º sobre os valores norteadores mínimos para os elementos Ni, Cr, Cu, Zn e Fe. Estes valores devem ser observados para que os biocompostos produzidos possam ser aplicados diretamente no solo.

Para os elementos Ni, Cu, Zn e Fe, a IN estabelece em seu Art. 6º que para uso dos biocompostos diretamente no solo as concentrações não podem ser inferiores a 0,005% para Ni, 0,05% para Cu, 0,1% para Zn e 0,2% para Fe. Conforme disposto na Tabela 4, os biocompostos avaliados enquadraram-se dentro desses limites para esses elementos.

Para os demais elementos Pb, Cr, Na e Al, a IN não estabelece quantidades limite.

Apesar de a legislação brasileira não estabelecer limites para as concentrações do elemento Na, a proporção encontrada nos biocompostos é considerada baixa. Ao ser aplicado nos solos o teor desse elemento deve ser levado em consideração, pois altos teores podem ocasionar problemas de salinização em alguns tipos de solos. CAI et al. (2014) observaram que os níveis elevados de sal no meio de cultivo proporcionaram uma redução na fase de germinação e do número de flores para diferentes cultivares de rosas, segundo os autores estas diminuições estão relacionadas com o aumento das concentrações de sódio nas folhas.

Os nutrientes presentes nos biocompostos são uma fonte alternativa econômica de macro e micronutrientes. Estes biocompostos podem ser utilizados como fertilizante orgânico ou como substrato para produção de mudas, tendo em vista a facilidade de sua produção e o auxílio na redução de custos com insumos industriais. E, conforme demonstrado anteriormente os resultados encontram-se dentro dos limites estabelecidos na Instrução Normativa de Nº 25 de 23 de julho de 2009.

Tendo em vista os aspectos analisados nos biocompostos foi realizada a comparação do teor de nutrientes presentes nos biocompostos com as recomendações da Instrução Normativa Nº 25 de 23 de julho 2009 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Conclui-se que o biocomposto 3 (B3) formado pela proporção serragem, resíduo vinícola, cama de frango (1:1:2), foi o mais rico em nutrientes (Ca, Mg, K e P) em comparação aos demais e enquadrou-se nos valores mínimos de metais estabelecidos pela legislação vigente.

O conhecimento da qualidade nutricional dos biocompostos produzidos é fundamental para seu uso agrícola pois, se tendo conhecimento da demanda nutricional da planta, estes podem ser utilizados no programa de adubação das culturas,

fornecendo quantidades adequadas de nutrientes e possibilitando a adubação de modo a obter maior eficiência do processo (STRASSBURGER et al., 2014).

De modo geral, os biocompostos enquadraram-se nos limites estabelecidos pela IN N° 25 de 2009 (MAPA). O único parâmetro que não se enquadrou foi o teor de umidade do biocomposto 1, pois a serragem serviu como uma espécie de “esponja” retendo umidade mesmo quando a produção do biocomposto foi encerrada. No entanto essa desconformidade não inviabiliza o biocomposto, pois esse fato pode ser solucionado com métodos de secagem.

Com base na legislação vigente os biocompostos 2 e 3 podem ser produzidos, embalados e comercializados como fertilizantes compostos destinados à agricultura, devendo o biocomposto 1 ter seu teor de umidade ajustada.

### 5.2.2 Avaliação Microbiológica

Com relação a parte microbiológica os resíduos vinícola e de cama de frango não apresentaram Ovos Viáveis de Helmintos antes de serem compostados (Tabela 2), o que se manteve nos biocompostos finais (Tabela 5). Tanto a IN como a literatura disponível não relatam sobre esses microrganismos, tendo em vista que os biocompostos de resíduos agrícolas e agroindustriais não apresentarem esses microrganismos, que são facilmente encontrados em biocompostos provenientes de lodo de esgoto e estações de tratamento.

**Tabela 5-** Avaliação microbiológica dos biocompostos produzidos.

Parâmetro	B1	B2	B3	IN N° 25 do MAPA
Ovos Viáveis de Helmintos	Ausente	Ausente	Ausente	Não especificado
Coliformes Termotolerantes (NMP g <sup>-1</sup> )	0	0	0	Não especificado

Para os coliformes, os resultados iniciais da caracterização mostraram presença de Coliformes Termotolerantes na cama de frango ( $1,2 \times 10^7$  NMP g<sup>-1</sup>, Tabela

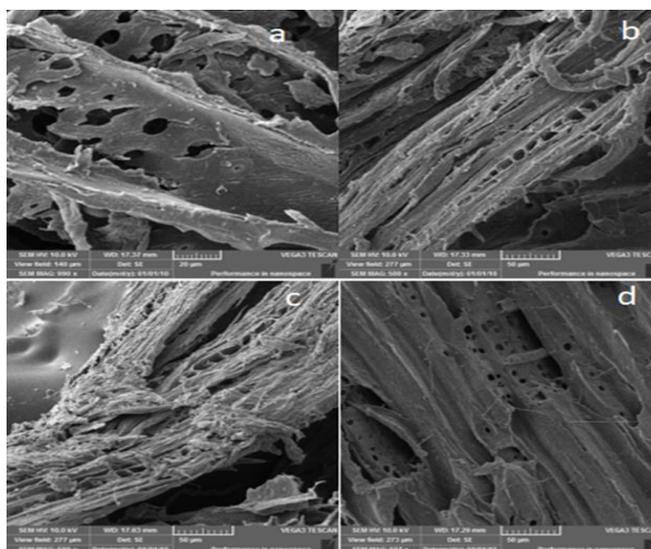
2). No entanto, ao final do processo de compostagem não foram detectadas a presença dos mesmos (Tabela 5). Esse resultado foi semelhante ao de ORRICO JR et al. (2010), que utilizaram como substrato para produção do seu composto, cama de frango e carcaças de aves. Os autores observaram redução de 100% desses microrganismos. Outros trabalhos, como os de PAZINI et al. (2019), DUARTE & PASQUALINI (2017) e AZEVEDO et al. (2018) também constataram a eficiência da compostagem na eliminação de microrganismos patogênicos.

Esta redução é de grande importância, uma vez que o produto final terá como destino o retorno ao solo na forma de fertilizante orgânico (SUNADA et al., 2014), a IN nº 25 do MAPA não menciona coliformes, a ausência desse microrganismo nos biocompostos produzidos favorece a utilização em espécies hortícolas, pois não oferece risco à segurança alimentar.

### 5.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Na Figura 10 está representada a MEV referente ao biocomposto B1. As imagens obtidas demonstraram forte evidência da decomposição parcial da lignina. Tal ocorrência era esperada. Tendo em vista que na composição do B1 não foi utilizada cama de frango que serve como fonte de microrganismos auxiliando na velocidade de degradação dos resíduos.

**Figura 10-** Micrografia eletrônica de varredura do biocomposto B1.



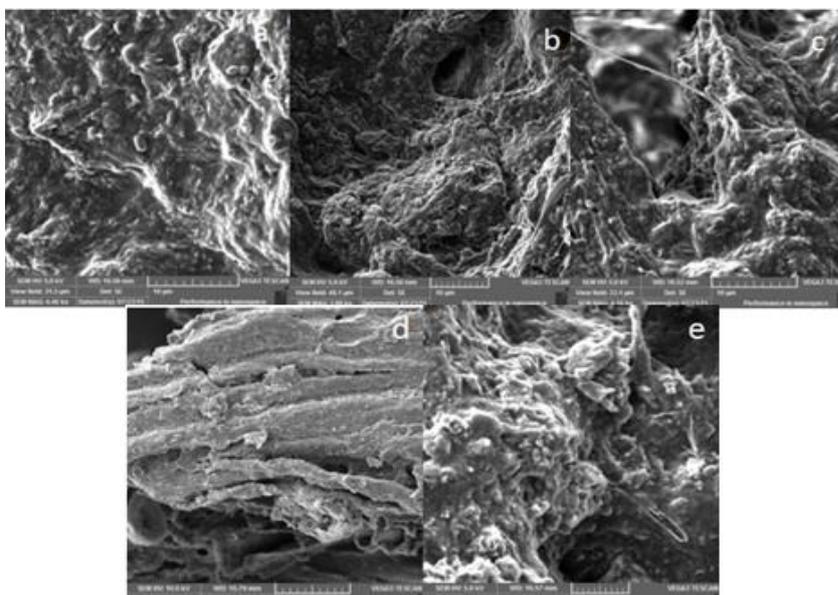
Fonte: Autora

CALABI-FLOODY et al. (2019) observaram, em seu trabalho de compostagem com palha de trigo, a presença de áreas hemicelulósicas e celulósicas, derivadas da decomposição parcial de lignina. As imagens encontradas na MEV do B1 (Figura 10), assemelham-se com as encontradas pelos autores. WU et al. (2019) também observaram nos dados de MEV que a compostagem da palha de arroz não tratada mostrou uma elevada orientação das cadeias de celulose e fibras.

Os resultados indicam que para ocorrer um aumento na degradação da lignina deve-se acrescentar outros resíduos, principalmente esterco de animais, que possui uma maior diversidade microbológica. LI et al. (2015) observaram que a adição de estrume bovino promoveu a degradação da lignocelulose e da lignina na fase termófila da compostagem.

Na Figura 11 está representada a MEV referente ao biocomposto B2. As micrografias revelaram diversidade morfológica, em que podemos observar uma variação no padrão das imagens obtidas nos diversos pontos, bem como não encontramos a presença de lignina, indicando que houve a degradação total. Essas imagens assemelham às encontradas por CANELLAS et al. (2000). De acordo com os autores, as estruturas são morfológicamente compostas por um agrupamento de partículas que não alcançaram formas definidas por apresentar massa molecular baixa.

**Figura 11-** Micrografia eletrônica de varredura do biocomposto B2.



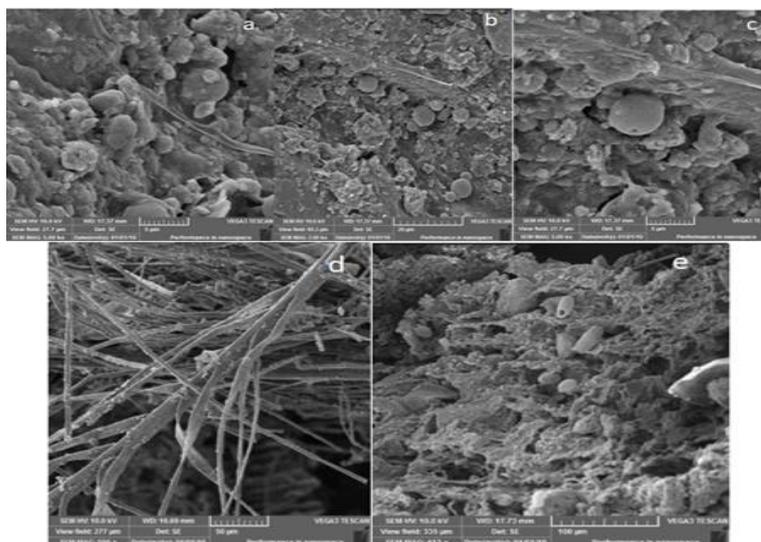
Fonte: Autora

O biocomposto produzido apresentou estruturas amorfas (Figuras 11b, c, d, e) e uma pequena concentração de estruturas esferoidais (Figura 11a). Os resultados corroboram com os encontrados por LIU et al. (2018), em compostos produzidos a partir de resíduos sólidos urbanos. Os autores atribuíram a presença dessas estruturas aos ácidos húmicos formados por uma maior degradação da matéria orgânica.

Durante a fase mesófila, predominam bactérias e fungos que degradam a matéria orgânica e liberam calor, por consequência favorecem o surgimento de actinomicetos, bactérias e fungos termófilos que degradam lipídeos, hemicelulose, celulose e lignina, sendo caracterizada desta forma a fase de humificação (VALENTE et al., 2009). Este comportamento é de extrema importância para os resíduos avaliados, pois em B2, não foram observados a presença de estruturas de lignina demonstrando que a adição da cama de frango contribui para o aumento de microrganismos de degradação.

Na Figura 12 está representada a MEV referente ao biocomposto B3. A análise apresentou características particulares, com a maior diversidade entre as micrografias estudadas, também não foi observada no biocomposto a presença de estruturas de lignina. Foi observado nesse biocomposto grande quantidade de estruturas esferoidais (Figuras 12 a, b, c), filamentosas (Figura 11d), amorfas e cilíndricas (Figura 10e). SMITH et al. (2020) mencionam que a alteração na estrutura do composto deve-se principalmente à atividade microbiana e enzimática inicial.

**Figura 12-** Micrografia eletrônica de varredura do biocomposto B3.



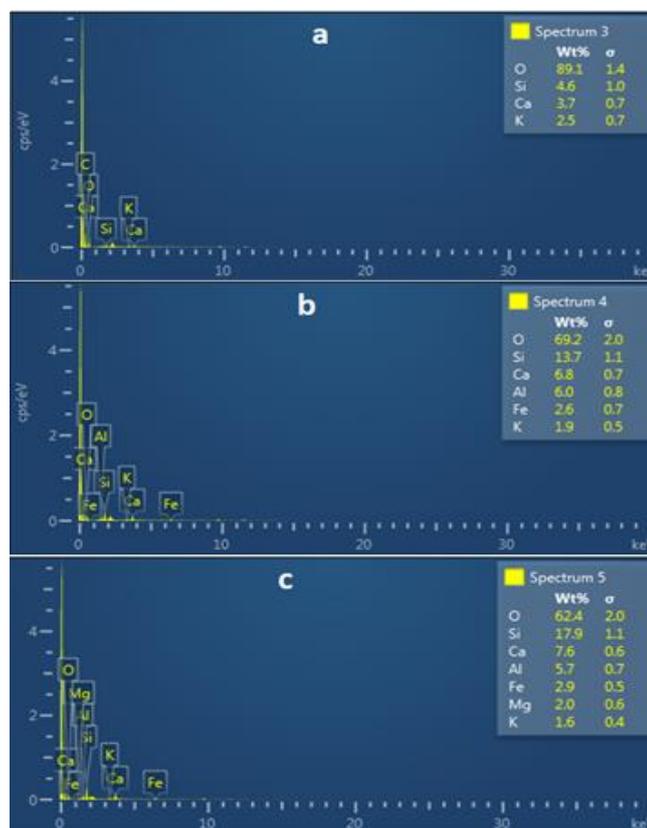
As imagens de B3 (Figura 12), indicam que houve um aumento na biomassa microbiana devido a adição de maior proporção de cama de frango que beneficiou o crescimento e reprodução dos microrganismos. Estruturas similares as encontradas em B3 foram observadas por STELLA et al. (2019), em estudos com biofertilizantes.

Nas análises de MEV os biocompostos demonstraram estruturas morfológicamente diferentes entre si: B1 apresentou menor degradação de lignina, B2 apresentou estruturas irregulares o que indica o processo de humificação e, B3 por sua vez apresentou a maior diversidade microbiológica.

#### 5.4 ESPECTROSCOPIA DE RAIOS X POR DISPERSÃO EM ENERGIA (EDS)

Conforme análise de EDS para os biocompostos, em B1 (Figura 13a) não foram encontrados indícios dos elementos Al e Fe, ao passo que em B2 (Figura 13b) e B3 (Figura 13c) foram encontrados esses elementos. LIU et al. 2018, no seu trabalho com compostos produzidos com resíduos sólidos urbanos, também encontraram a presença de alguns metais nos seus compostos nas análises de EDS, de acordo com os autores, o húmus produzido durante o processo de compostagem tem a capacidade de adsorver alguns metais, formando complexos estáveis o qual os autores denominaram complexo metal-humus.

**Figura 13-** Espectro de EDS dos biocompostos B1(a), B2(b) e B3(c).



Fonte: Autora

A maior porcentagem de Oxigênio foi encontrada no B1 com 89,1% e a menor, no B3 com 62,4%. Esse resultado indica que o resíduo vinícola preservou oxigênio, devido ao fato dos compostos fenólicos presentes nos resíduos vinícolas, principalmente no bagaço, capturarem radicais livres derivados de oxigênio (MAZZA, 2017).

O oxigênio, é relevante na fase de produção de biocompostos, ou seja na fase de campo, pelo fato dos microrganismos necessitarem desse elemento para respiração, tendo em vista que a compostagem é um processo aeróbico, bem como para oxidação da matéria orgânica. Entretanto, a literatura e a legislação vigente não consideram esse fator como sendo fundamental em compostos já produzidos, pois como o composto já está finalizado, não é mais necessária a ação dos microrganismos.

Comportamento similar foi observado para o elemento K que em B1 apresentou 2,5% e, em B3 apresentou um valor menor (1,6%), indicando uma preservação maior desse elemento nos resíduos vinícolas.

Para os elementos Si e Ca houve um aumento das proporções no B1 em relação ao B2 e ao B3. Em B2 e B3 foram encontrados valores próximos de 13,7% e 17,9% de Si, respectivamente. Para Ca de 6,8 em B2 e 7,6 em B3. Esses valores indicam que os biocompostos B2 e B3, o qual possuíam cama de frango em sua composição, apresentaram maior facilidade de reter esses elementos. De acordo com LIU et al. (2018), a presença de Si, Ca, Fe e Al, indica que os íons metálicos foram ligados a grupos funcionais orgânicos, de modo que os íons ficaram imobilizados em um complexo rígido.

Os biocompostos B2 e B3 que apresentaram maior diversidade morfológica nas análises de MEV (Figuras 11 e 12), também apresentaram os maiores índices de elementos na análise de EDS. GLAB et al. (2018) produzindo compostos com palha de milho, lamas de depuração e biochar de salgueiro constataram que partículas de compostos com tamanhos diferentes na análise de MEV foram caracterizadas por conteúdos diferentes de EDS.

Comparando a EDS de B3 (Figura 13c) em relação a B1 (Figura 13a) e a B2 (Figura 13b), foi verificado maiores porcentagens de Si, Ca e Fe, bem como a presença de Mg, que não foi detectado nos outros biocompostos. Esses resultados corroboram com o estudo de GONDEK et al. (2018), onde os autores observaram maiores teores de microelementos no composto contendo lodo de esgoto

Nas análises de EDS os biocompostos apresentaram diferentes proporções de elementos. B1 foi o que apresentou menores teores de O, Si, Ca e K. Em B2 e B3 além de O, Si, Ca e K, foram encontrados Al e Fe. O elemento Mg foi encontrado somente em B3. Como os valores dos elementos analisados entre B2 e B3 foram similares e superiores a B1 é possível deduzir que a presença de cama de frango melhorou a qualidade nutricional dos compostos.

## **6 CONCLUSÃO**

O controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos atenderam a Resolução Nº 481/ 2017 do CONAMA tanto na sua forma de montagem quanto na sua avaliação.

Os biocompostos produzidos enquadram-se nos padrões estabelecidos pela Instrução Normativa Nº 25/2009 do MAPA, com destaque para o B3 o qual apresentou maiores teores de nutrientes.

B2 e B3 podem ser produzidos, embalados e comercializados como fertilizantes destinados à agricultura, B1 por sua vez deve ter seu teor de umidade ajustado.

A cama de frango auxiliou o processo de degradação das estruturas lignoceluloseicas, o que foi observado nos biocompostos B2 e B3 nas análises de MEV e EDS.

Os biocompostos produzidos atenderam as finalidades propostas, mostrando-se uma alternativa viável de tratamento de resíduos vinícola e cama de frango, pela facilidade de produção e por apresentarem potencial nutricional, para uso como adubo orgânico em diversas culturas.

Uma sugestão para futuras pesquisas seria utilizar os biocompostos produzidos como substrato para produção de mudas.

## 7 REFERENCIAS

ABRAFRUTAS. **Produtores rurais do Vale do São Francisco esperam crescimento de 15% nas exportações de frutas**. Disponível em:< <https://abrafrutas.org/2018/09/13/produtores-rurais-do-vale-do-sao-francisco-esperam-crescimento-de-15-nas-exportacoes-de-frutas/>>. Acesso em 15/05/2020 às 16:24.

APHA. American Public Health Association AWWA.WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22th ed. Washington: American Public Health Association, 2012.

AZEVEDO, M. A.; CALDEIRA, D. C.; ALBERGARIA, I. C.; ROSADO, J. R. Estabilidade de dejetos bovinos e resíduos verdes por compostagem. **XVI – Simpósio Ítalo-brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental-SIBESA. 18 a 20 de jul- 2018-** Foz do Iguaçu PR.

BARROS, E. S. C. Produção de biocomposto proveniente da viticultura e aplicação no desenvolvimento de mudas de videira (*Vitis vinifera* L.). 2020. 75p. **Dissertação**

(Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Vale do São Francisco. Juazeiro-BA.

BAZRAFESHAN, E.; ZAREI, A.; MOSTAFAPOUR, F. K.; POORMOLLAE, N.; MAHMOODI, N. S., ZAZOULI, M. A.; Maturity and stability evaluation of composted municipal solid wastes. **J. Health Scope**, 2016.

BINFARE, P. W.; GALVÃO, P.L.A.; CASTRO, C. A. T.; Enoturismo: possibilidades e desafios para o desenvolvimento regional do turismo na região vinícola do Vale do São Francisco - Nordeste brasileiro. **PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural**.v. 14, n.5, p. 1217- 1227, out.2016.

BRANCO, D. K. S.; BARROS; E. S. Impactos da ferrovia transnordestina na exportação de uva do Vale Submédio São Francisco. **Rev. Econ. NE**, Fortaleza, v. 48, n. 1, p. 31-45, jan/mar, 2017.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei 12.305**. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2010.102 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009** - Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Diário Oficial da União, julho, 2009.

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.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos/ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. –Brasília: MAPA, 2017.

BUSTAMANTE, M.A.; ALBURQUERQUE, J.A. RESTREPO, A.P.; DE LA FUENTE, C.; MORAL, R.; BERNAL, M.P. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. **A review. Bioresour Technol**, 2012

CAI, X.; NIU, G.; STARMAN, T.; HALL, C. Response of six garden roses (*Rosa x hybrida* L.) to salt stress. **Sci Hortic**, n.168, p. 27-32. 2014.

CALABI-FLOODY, M.; MEDINA, J.; SUAZO, J.; ORDIQUEO, M.; APONTE, H.; MORA, M. L. L.; RUMPEL, C. Optimization of wheat straw co-composting for carrier material development. **Waste Management**, v.98, p. 37-49, out. 2019.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G. A.; MORAES, A. A.; RUMJANEK, V.M.; OLIVARES, F.L. Avaliação de características de ácidos húmicos de resíduos de origem urbana: i. métodos espectroscópicos (UV-VIS, IV, RMN <sup>13</sup>C-CP/MAS) e microscopia eletrônica de varredura. **R. Bras. de Ciência do Solo**, p.741-750, 2000.

CASAGRANDE, A.M.; FREIRE, H.V.D.; MOURA, L.M.S.; QUINTAS, L.M.P. Destino do resíduo orgânico do lar escola santa verônica: como tornar restos alimentares em adubo orgânico através da técnica de compostagem. **Revista Ciências Humanas - Educação e Desenvolvimento Humano – UNITAU**. UNITAU, Taubaté/SP - Brasil, v. 10, edição 20, dez 2017.

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **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.

COTTA, J.A.O.; CARVALHO, N.L.C.; BRUM, T. S.; REZENDE, M. O. O. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Eng Sanit Ambient**, v.20 n.1, p. 65-78. jan/mar 2015.

COSTA FILHO, D. V.; SILVA, A. J.; SILVA, P. A. P.; SOUSA, F. C. Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de subprodutos. **II Congresso Internacional das Ciências Agrárias COINTER-PDV Agro 2017**.

DUARTE, K.M.R.; PASQUALINI, A.A. Microbiologia de compostagem: novas abordagens. **Revista Faculdades do Saber**,p. 322-331, 2017

EMBRAPA. **Ciência que transforma - Frutas e Hortaliças**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira/frutas-e-hortaliças>>. Acesso em 15/05/2020 às 16:18.

FERRER, J.; PÁEZ, G.; MÁRMOL, Z.; RAMONES, E.; CHANDLER, C.; MARÍN, M.; FERRER, A. Agronomic use of biotechnologically processed grape wastes. **Bioresource Technology**, v.76, p. 39-49, jan. 2000.

FIGUEIREDO, R.T.; BRITO, M.J.C.; SANTOS, P.H.C.; SOARES, C.M.F.; BURLE, E.C. Monitoramento de Compostagem em Pequena Escala Comercial. **Semioses, Inovação, Desenvolvimento e Sustentabilidade**. Rio de Janeiro, v. 13, n. 3., jul./set. 2019.

GAO, Y.; YU, H.; LIU, P.; MA, C.; LI, Q.; JIANG, W. Ending composting during the thermophilic phase improves cultivation substrate properties and increasing winter cucumber yield. **Waste Management**, v. 79, p. 260-272, set. 2018.

GŁĄB, T.; ŻABIŃSKI, A.; SADOWSKA, U.; GONDEK, K.; KOPEĆ, M.; MIERZWA-HERSZTEK, M.; TABOR, S. Effects of co-composted maize, sewage sludge, and biochar mixtures on hydrological and physical qualities of sandy soil. **Geoderma**, v. 315, abr. 2018.

GUERRA, C.C., MANDELLI, F., TONIETTO, J., ZANUS, M.C., CAMARGO, U.A. 2005. **Conhecendo o essencial sobre uvas e vinhos**. 1 ed. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, Brasil. 69 p.

GONDEK, K.; MIERZWA-HERSZTEK, M.; KOPEĆ, M., SIKORA, J.; GŁĄB, T.; SZCZUROWSKA, K. Influence of biochar application on reduced acidification of sandy soil, increased cation exchange capacity, and the content of available forms of K, Mg, and P. **Pol. J. Environ. Stud.** v. 28. Jan 2018.

GOSWAMI, L.; NATH, A.; SUTRADHAR, S.; BHATTACHARYA, S.S.; KALAMDHAD, A.; VELLINGIRI, K.; KIM, K.-H. Application of drum compost and vermicompost to improve soil health, growth, and yield parameters for tomato and cabbage plants. **Journal of Environmental Management**. v.200, set 2017.

HERMES, L.V. Avaliação da degradabilidade de dejetos suínos em compostagem convencional e acelerada. Lajeado/RS,2019. 83 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenharia Ambiental). Universidade do Vale do Taquari, Lajeado/RS,2019.

HORA, G.B.; XAVIER, M.G.P.; MATTOSINHO, C.M.S. **Inovação na indústria vitivícola do Vale do Submédio São Francisco**.1. ed.,Aracaju: IFS, 2016. 86 p.

IDROVO-NOVILLO, J., GAVILANES-TERÁN, I., ANGELES BUSTAMANTE, M., PAREDES, C. Composting as a method to recycle renewable plant resources back to the ornamental plant industry: Agronomic and economic assessment of composts. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 116, p.388–395, mar. 2018.

KARLING, M.; BICAS, T. C.; LIMA, V. A.; OLDONI, T. L. C. Grape and apple pomaces from Southern Brazil: valorization of by-products through investigation of their antioxidant potential. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.0, p.1-9, 2017.

KIEHL, E. J. Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto. 4 ed. Piracicaba- SP. **Embrapa Solos**, 2004.

LIMA, V.O. Estudo da viabilidade econômica para a instalação de um biodigestor em um condomínio para avicultura de corte. Campo Mourão/PR. 2017. 43f. **Trabalho de Conclusão de Curso 2**. (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão-PR. 2017

LI, X.; SHI, X.-S.; YANG, Z.-M.; XU, X.-H.; GUO, R.-B. Effects of recyclable ceramsite as the porous bulking agent during the continuous thermophilic composting of dairy manure. **Journal of Cleaner Production**, v. 217, p. 344-351, abr. 2019.

LIU, L.; GUO, X.; WANG, S.; LI, L.; ZENG, Y.; LIU, G. (2018). Effects of wood vinegar on properties and mechanism of heavy metal competitive adsorption on secondary fermentation based composts. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.150, p.270-279, abr. 2018.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 25**. BRASIL, 2009.

MAZZA, K.E.L. Extração assistida por ultrassom e microencapsulação por spray drying de compostos fenólicos do bagaço de uva. 2017. 118p. **Dissertação** (Mestrado em Ciência de Alimentos). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

METZNER, C.M.; BERTOLINI, G.R.F.; LEISMANN, E.L.; SCHMIDT, A.O. Análise de estudos sobre a viabilidade técnica e econômica do uso da cama de aviários como adubo orgânico. **Custos e @gronegocio on line**, v. 11, n. 3, Jul/Set. 2015.

MOHARANA, P. C.; BISWAS, D. R. Assessment of maturity indices of rock phosphate enriched composts using variable crop residues. **Bioresource Technology**, v. 222, p.1-13, dez. 2016.

NASCIMENTO FILHO, W. B; FRANCO, C. R. Avaliação do potencial dos resíduos produzidos através do processamento agroindustrial no Brasil. **Rev. Virtual Quim**, v.7, n. 6, jul. 2015.

OLIVEIRA, D. L. S.; LO MONACO, P. A. V.; KRAUSE, M. R.; MENEGHELLI, L. A. M.; GARCIA, W. A.; CALMON, J. M. I. Resíduos agrícolas como substratos alternativos na produção de mudas de beterraba. **Cadernos de Agroecologia** – ISSN 2236-7934 – Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF. v. 13, n.1, jul. 2018.

ORRICO JÚNIOR, M.A.P.; ORRICO, A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal/SP, v.30, n.3, p.538-545, maio/jun. 2010.

PAIXÃO R. M.; SILVA L. H. B. R.; TEIXEIRA T. M. Análise da Viabilidade da Compostagem de Poda de Árvore no Campus do Centro Universitário de Maringá. **CESUMAR. VI Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica**, 23 a 26 de outubro de 2012.

PANESAR, P.S., KAUR, R.; SINGLA, G.; SANGWAN, R. S. Bio-processing of agro-industrial wastes for production of food-grade enzymes: progress and prospects, *Appl Food*. **Biotechnol**, v.3, n. 4, p. 208-277, 2016.

PARADELO, R.; MOLDES, A. B.; BARRAL, M. T. Evolution of organic matter during the mesophilic composting of lignocellulosic winery wastes. **Journal of Environmental Management**, v. 116, fev. 2013.

PAZINI, R.C.; CAVICHIOLI, F.A.; GROSSI, S.F. Destino das carcaças de aves mortas: Compostagem. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba/PR, v. 5, n. 6, p. 4493-4502, jun. 2019.

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, Sinop**, v. 01, n. 01, p. 44-48, out./dez. 2013.

PEREIRA, D. H. P.; GROTO, C. G. L. Produção e análises de combustíveis sólidos alternativos obtidos a partir de resíduos agroindustriais. **Revista Desafios** – v. 5, n. Especial, 2018

PEREIRA, J. S. Reúso agrícola de biossólido em cultivo de mudas de *Psidium guajava* L. 2019. 67p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Vale do São Francisco. Juazeiro-BA.

PINTER, I. F.; FERNÁNDEZ, A. S.; MARTÍNEZ, L. E.; RIERA, N.; FERNÁNDEZ, M.; AGUADO, G. D.; ULIARTE, E. M. Exhausted grape marc and organic residues composting with polyethylene cover: Process and quality evaluation as plant substrate. **Journal of Environmental Management**, set. 2019.

PROSAB. (1999). **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. UEL Universidade Estadual de Londrina, 1999. 91 p. Disponível em: < [https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro\\_Compostagem.pdf](https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro_Compostagem.pdf) >. Acesso em 18/05/2020 às 15:52.

RAIMUNDO, E. K. M.; EVANGELISTA, G. M.; PAULINO, R. D.; BELTRÃO, L. G. C.; BARBOSA, L. B.; SILVA, J. R. Exploração da avicultura caipira em regime de economia solidária: uma análise dos problemas e condicionantes ambientais da produção em uma cooperativa da Paraíba. **Cadernos de Agroecologia**, ISSN 2236-7934, Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF – v. 13, n. 1, Jul. 2018.

RIBEIRO, F.D.; SARAIVA-BONATTO, E.C.; MOURA, R.P.M.; MOURA, M. A. S.; SARAIVA, M.G.G. Caracterização do resíduo agrícola da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K). **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC** Palmas/TO – Brasil 17 a 19 de setembro de 2019

RODRIGUES, A. C.; FRANÇA, J. R.; SILVEIRA, R. B.; SILVA, R. F.; ROS, C.O.; KEMERICH, P.D.C. Compostagem de resíduos orgânicos: eficiência do processo e qualidade do composto. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11, n.22, p.759-770, dez. 2015.

ROSA, M. F.; SOUZA FILHO, M S. M.; FIGUEIREDO, M. C. B.; MORAIS, J. P. S.; SANTAELLA, S. T. LEITÃO, R. C. Valorização de resíduos da agroindústria. **II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA 15 a 17 de março de 2011** – Foz do Iguaçu, PR Volume I – Palestras.

ROUSK, J.; BÅÅTH, E. Growth of saprotrophic fungi and bacteria in soil. **FEMS Microbiology Ecology**, v.78, p. 17-30, out. 2011.

RUGGERO, F.; CARRETTI, E.; GORI, R.; LOTTI, T.; LUBELLO, C. Monitoring of degradation of starch-based biopolymer film under different composting conditions, using TGA, FTIR and SEM analysis. **Chemosphere**, v. 246, mai. 2020.

SAGRILO, E.; GIRÃO, E.S.; BARBOSA, F.J.V.; RAMOS, G. M.; AZEVEDO, J. N.; MEDEIROS, L.P.; ARAÚJO NETO, R. B.; LEAL, T.M. **Validação do Sistema Alternativo de Criação de Galinha Caipira**. Disponível em: < <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/AgriculturaFamiliar/RegiaoMeioNorteBrasil/GalinhaCaipira/index.htm> >. Acesso em: 21/07/2020 às 10:00.

SALGADO, M. M.M.; BLU, R. O.; JANSSENS, M.; FINCHEIRA, P. Grape pomace compost as a source of organic matter: Evolution of quality parameters to evaluate maturity and stability. **Journal of Cleaner Production** . v. 216, p. 56-63, abr. 2019.

SAMPAIO, N. M.; SOUZA, A. R.; PEREIRA, N. I. A.; SANTOS, A. F. M.; BEVILACQUA, P. D. Expressões da avicultura familiar caipira em município da Zona da Mata de Minas Gerais. **Cadernos de Agroecologia** – ISSN 2236-7934 – Vol 10, Nº 3 de 2015 Resumos do IX Congresso Brasileiro de Agroecologia – Belém/PA – 28.09 a 01.10.2015.

SANTOS, R.R.D.; GUARNIERI, P.; BRISOLA, M.V. Logística reversa de resíduos das atividades agrossilvipastoris e agroindustriais: uma revisão sistemática da literatura. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá -PR, v. 11, n. 2, p. 573-597, abr./jun. 2018

SILVA, V.L.; BORGES, I.; ARAÚJO, A. R.; COSTA, H.H.A.; ALVES FILHO, F.M.; AMÂNCIO FRUTUOSO, F.I.A.; SILVA, R.H.P.; ANCÂNTARA, P.B.X. Efeito do tratamento químico sobre a digestibilidade de volumosos e subprodutos agroindustriais. **Acta Kariri Pesq. e Des.** Crato/CE, V.1, N.1, p.29-37, nov.2016.

SILVA, A. F.; SILVA, M. C. B. C. Agricultura no nordeste semiárido e os resíduos orgânicos aproveitáveis. **Revista Equador (UFPI)**, Vol.5, nº2, p. 102 - 119 (Jan/Jun, 2016).

SMITH, B. A. M.; EUDOXIE, G.; STEIN, R.; RAMNARINE, R.; RAGHAVAN, V. Effect of neem leaf inclusion rates on compost physico-chemical, thermal and spectroscopic stability. **Waste Managemet**. v. 114, p. 136-147, ago. 2020.

SONG, X.; LIU, M.; WU, D.; GRIFFITHS, B.S.; JIAO, J.; LI, H.; HU, F. Interaction matters: Synergy between vermicompost and PGPR agents improves soil quality, crop quality and crop yield in the field. **Soil Ecol**. V.89, mai. 2015.

STELLA, M.; THEEBA, M.; ILLANI, Z.I. Organic fertilizer amended with immobilized bacterial cells for extended shelf-life. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**. v.20, p. 1-13, jul.2019.

STRASSBURGER, A.S.; LAMB, C.R.C.; ABICHEQUER, A.D. Resíduos orgânicos da agroindústria vinícola e da atividade avícola como fertilizante no cultivo da alface. **PESQ. AGROP. GAÚCHA**. Porto Alegre/RS. V. 20, p. 87-99, 2014.

SUNADA, N.S.; ORRICO, A.C.A.; ORRICO JUNIOR, M.A.P.; RIBEIRO CENTURION, S.R.; OLIVEIRA, A. B. M.; FERNANDES, A. R. M.; LUCAS JUNIOR, J.; SENO, L.O. Compostagem de resíduo sólido de abatedouro avícola. **Cienc. Rural**. Santa Maria/RS, V. 45, N.1, jan. 2014.

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

VIANA, L. G.; CRUZ, P.S. Reaproveitamento de resíduos agroindustriais. **IV Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Cruz das Almas, Bahia – 13 a 16 de julho de 2016

WANG, J.; HU, Z.; XU, X.; JIANG, X.; ZHENG, B.; LIU, X.; PAN, X.; KARDOL, P. Emissions of ammonia and greenhouse gases during combined pre-composting and vermicomposting of duck manure. **Waste Management**, v. 34, ago. 2014.

WU, Y.; CHEN, X.; SHAABAN, M.; ZHU, D.; HU, C.; CHEN, Z.; WANG, Y. Evaluation of microbial inoculants pretreatment in straw and manure co-composting process enhancement. **Journal of Cleaner Production**. v. 239, p.1-10, dez. 2019.

ZHANG, L.; SUN, X.; TIAN, Y.; GONG, X. Effects of brown sugar and calcium superphosphate on the secondary fermentation of green waste. **Bioresource Technology**, v. 131, p. 68-75, mar. 2013.