

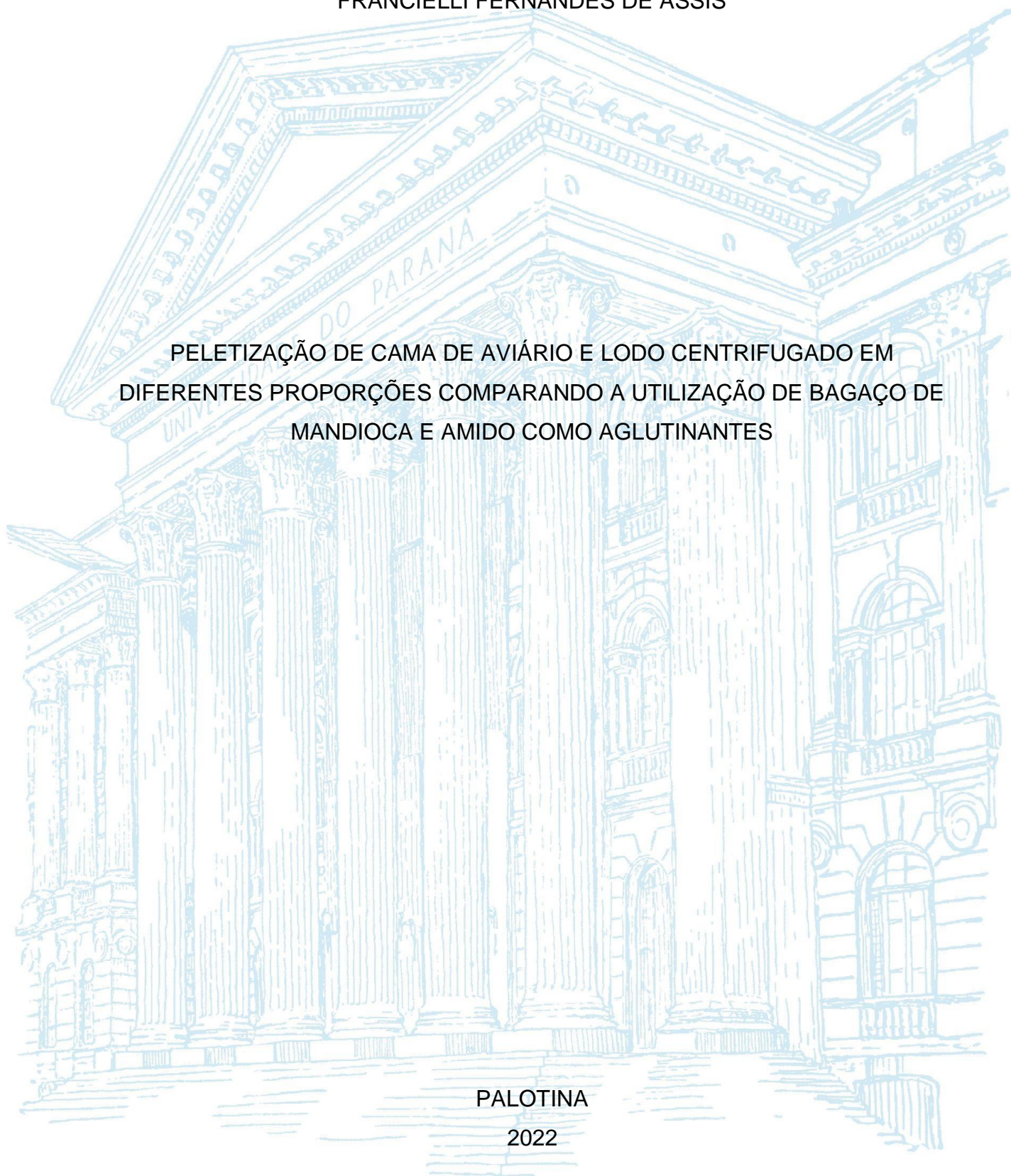
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FRANCIELLI FERNANDES DE ASSIS

PELETIZAÇÃO DE CAMA DE AVIÁRIO E LODO CENTRIFUGADO EM  
DIFERENTES PROPORÇÕES COMPARANDO A UTILIZAÇÃO DE BAGAÇO DE  
MANDIOCA E AMIDO COMO AGLUTINANTES

PALOTINA

2022



FRANCIELLI FERNANDES DE ASSIS

PELETIZAÇÃO DE CAMA DE AVIÁRIO E LODO CENTRIFUGADO EM  
DIFERENTES PROPORÇÕES COMPARANDO A UTILIZAÇÃO DE BAGAÇO DE  
MANDIOCA E AMIDO COMO AGLUTINANTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lucas Konrad Burin

PALOTINA

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E EXATAS  
Rua Pioneiro, 2153, - - Bairro Jardim Dallas, Palotina/PR, CEP 85950-000  
Telefone: 3360-5000 - <http://www.ufpr.br/>

## ATA DE REUNIÃO

Aos dezesseis dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e dois, às quinze horas e trinta minutos, na Sala virtual <http://meet.jit.si/GeneralQuotasDirectDownstairs>, da Plataforma Jitsi, Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, realizou-se a Defesa Pública e Oral do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "**Peletização de Cama de Aviário e Lodo Centrifugado em Diferentes Proporções Comparando a Utilização de Bagaço de Mandioca e Amido como Aglutinantes**" apresentado pela discente Francieli Fernandes de Assis, orientada pelo Prof. Dr. Eduardo Lucas Konrad Burin, como um dos requisitos obrigatórios para conclusão do curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Iniciados os trabalhos, o orientador e Presidente da Banca concedeu a palavra à discente, para exposição do seu trabalho. A seguir, foi concedida a palavra em ordem sucessiva aos membros da Banca de Exame, os quais passaram a arguir a discente. Ultimada a defesa, que se desenvolveu nos termos normativos, a Banca de Exame, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo atribuído à discente as seguintes notas: **Profa. Dra. Adriana Ferla de Oliveira, nota: 90 (noventa)**, **Profa. Ma. Fabiana de Marqui Mantovan, nota: 90 (noventa)**, e **Prof. Dr. Eduardo Lucas Konrad Burin, nota: 90 (noventa)**. A nota final da discente, após a média aritmética dos três membros da banca de exame, foi **90 (noventa)**. As considerações e sugestões feitas pela Banca de Exame deverão ser atendidas pela discente sob acompanhamento de seu orientador. Nada mais havendo a tratar foi lavrada a presente ata, que, lida e aprovada, vai por todos assinada eletronicamente.



Documento assinado eletronicamente por **EDUARDO LUCAS KONRAD BURIN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/09/2022, às 09:40, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **ADRIANA FERLA DE OLIVEIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/09/2022, às 10:31, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Fabiana de Marqui Mantovan, Usuário Externo**, em 19/09/2022, às 17:57, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **4877361** e o código CRC **514232A9**.

Dedico esse estudo a meus pais, a meu noivo e a meus irmãos, por sempre ficarem ao meu lado fornecendo apoio e incentivo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela vida abençoada, cheia de bençãos e alegrias.

A meus pais, Oseias Ribeiro de Assis e Edime Fernandes de Campos de Assis, por tudo que fizeram e fazem por mim, demonstrando carinho, prestando apoio e me incentivando a sempre ser melhor.

A meus irmãos, Rodivan Fernandes de Assis e Rodrigo Fernandes de Assis, por sempre demonstrarem muito carinho, conforto e incentivo para realização dos meus sonhos.

A meu noivo, Carlos Roberto Oennig, por todo apoio e carinho, e por sempre segurar a minha mão nos momentos difíceis.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Lucas Konrad Burin, por toda orientação e dedicação durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos membros da banca pela disponibilidade e atenção.

A Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina e todos os professores que proporcionaram o meu desenvolvimento profissional através da transmissão de conhecimentos técnicos.

Agradeço ao Vinicius Oenning e ao Thiago Calixto, por auxiliarem em parte dos experimentos desenvolvidos no Laboratório de Química Orgânica e aos técnicos do bloco de química Raquel, Guilherme e Thompson por sempre estarem dispostos a ajudar.

Agradeço aos meus amigos, Giovana, Hemilly, Acacio, Pedro, Nathalia e Maria, que acompanharam toda a minha trajetória acadêmica, compartilhando momentos e risadas.

E agradeço a toda equipe da Unidade de Apoio Psicossocial – UAPS – Setor Palotina, em especial a Bruna, por fornecer apoio e orientações durante todo o período da graduação.

Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de  
você, menos o seu conhecimento.

Albert Einstein

## RESUMO

O objetivo da pesquisa foi avaliar o processo de peletização de misturas de cama de aviário e lodo de tratamento de efluentes de frigorífico de aves, bem como o uso do bagaço de mandioca e do amido de milho como agentes aglutinantes. As amostras de cama de aviário (extraído após oitavo lote) e lodo foram coletadas, respectivamente, de um aviário e de um frigorífico de aves localizados na cidade de Palotina-PR. A amostra de bagaço de mandioca foi coletada em uma amidonaria localizada na cidade de Terra Roxa-PR. A amostra de amido de milho utilizada nos experimentos foi coletada na própria empresa onde ocorreram os testes de peletização, na cidade de Toledo-PR. Após a coleta dos resíduos, foi determinada a umidade in natura e realizada análise imediata seguindo as normas ASTM E871-82 (1982a), ASTM E872-82 (1982b), D1102-84 (1984). Ainda, será realizada a determinação do poder calorífico por uma estimativa da FAO (2019). Para a produção dos pellets, foram definidos três tipos de misturas: cama de aviário e lodo (CL); cama de aviário, lodo e bagaço de mandioca (CLB), com 2% de bagaço de mandioca em cada ensaio; cama de aviário, lodo e amido (CLA), com 2% de amido em cada ensaio. Para as misturas (CL), (CLB) e (CLA), a quantidade de lodo foi variada em 0, 10 e 20%. Todo material utilizado foi parcialmente seco até atingir 10-12 % de umidade. Após a peletização das misturas, os pellets serão caracterizados seguindo as metodologias aplicadas para as matérias-primas, submetidos a testes de densidade e análises físicas. Os resultados da análise de umidade in natura da cama de aviário, lodo e bagaço de mandioca foram, respectivamente, de: (20,91±0,01); (61,66±0,01) e (90,75±0,01) %. O teor de voláteis da cama de aviário, lodo e bagaço de mandioca foram, respectivamente: (57,58±0,09); (86,30±0,96) e (84,55±0,80) %. O teor de cinzas da cama de aviário, lodo e bagaço de mandioca foram, respectivamente: (34,42±0,14); (7,58±0,36) e (2,34±0,0,03) %. O teor de carbono fixo da cama de aviário, lodo e bagaço de mandioca foram, respectivamente: (8,01±0,15); (6,12±1,08) e (13,11±0,83) %. A peletização dos resíduos compactou de forma efetiva os resíduos e a utilização do bagaço foi satisfatória. A análise imediata dos pellets apresentou similaridade com a cama de aviário, por ser a maior constituinte da mistura. Com a realização desse trabalho foi possível caracterizar e concluir que a peletização é um caminho promissor para a destinação de resíduos.

Palavras-chave: Peletização; Resíduos; Energia.

## ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the pelletization process of mixtures of poultry litter and sludge from poultry processing plant effluents, as well as the use of cassava bagasse and corn starch as binding agents. The samples of poultry litter (extracted after the eighth batch) and sludge were collected, respectively, from a poultry house and a poultry processing plant located in the city of Palotina-PR. The cassava bagasse sample was collected from a starch factory located in the city of Terra Roxa-PR. The corn starch sample used in the experiments was collected at the company where the pelleting tests took place, in the city of Toledo-PR. After collecting the residues, the in natura moisture was determined and immediate analysis was performed following the ASTM E871-82 (1982a), ASTM E872-82 (1982b), D1102-84 (1984) standards. Also, the determination of the calorific value by ASTM D5865-19 (2019) and the lignin content by NBR7989 standard of 02/2010 will be performed. For the production of pellets, three types of mixtures were defined: poultry litter and sludge (CL); poultry litter, sludge and cassava bagasse (CLB), with 2% of cassava bagasse in each trial; poultry litter, sludge and starch (CLA), with 2% starch in each trial. For the mixtures (CL), (CLB) and (CLA), the amount of sludge was varied by 0, 10 and 20%. All material used was partially dried to 10-12 % moisture content. After pelleting the mixtures, the pellets will be characterized following the methodologies applied for the raw materials, submitted to density tests and physical analyses. The results of the in natura moisture analysis of the poultry litter, sludge and cassava bagasse were, respectively, of:  $(20,91 \pm 0,01)$ ;  $(61,66 \pm 0,01)$  e  $(90,75 \pm 0,01)$  %. The volatile content of poultry litter, sludge and cassava bagasse were:  $(57.58 \pm 0.09)$ ;  $(86.30 \pm 0.96)$  and  $(84.55 \pm 0.80)$  %, respectively. The ash content of poultry litter, sludge and cassava bagasse were, respectively:  $(34.42 \pm 0.14)$ ;  $(7.58 \pm 0.36)$  and  $(2.34 \pm 0.03)$  %. The fixed carbon content of poultry litter, sludge and cassava bagasse were, respectively:  $(8.01 \pm 0.15)$ ;  $(6.12 \pm 1.08)$  and  $(13.11 \pm 0.83)$  %. The pelletization of the waste effectively compacted the waste and the utilization of bagasse was satisfactory. The immediate analysis of the pellets showed similarity with the poultry litter, for being the largest constituent of the mixture. With this work it was possible to characterize and conclude that the pelletization is a promising way to dispose of waste.

Keywords: Pelletizing; Waste; Energy.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - RESÍDUOS APÓS SECAGEM: CAMA DE AVIÁRIO, LODO CENTRIFUGO E BAGAÇO DE MANDIOCA, RESPECTIVAMENTE.....	27
FIGURA 2 - PELLETS PRODUZIDOS.....	34

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS ENCONTRADAS NA LITERATURA.....	16
TABELA 2 – PROPORÇÕES UTILIZADAS NAS MISTURAS.....	28
TABELA 3 – TEOR DE UMIDADE <i>in natura</i> DOS RESÍDUOS.....	30
TABELA 4 – ANÁLISE IMEDIATA DOS RESÍDUOS EM BASE SECA.....	31
TABELA 5 – PODER CALORÍFICO DOS RESÍDUOS.....	32
TABELA 6 – TEOR DE UMIDADE DOS PELLETS.....	35
TABELA 7 – ANÁLISE IMEDIATA DOS PELLETS EM BASE SECA.....	36
TABELA 8 – PODER CALORÍFICO DOS PELLETS.....	36
TABELA 9 – DENSIDADE A GRANEL E ENERGÉTICA DOS PELLETS.....	37

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	13
1.2	OBJETIVO GERAL.....	14
1.2.1	Objetivos específicos.....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
2.1	DEMANDA DE ENERGIA EM AGROINDÚSTRIAS .....	14
2.2	RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS.....	15
2.3	CAMA DE AVIÁRIO.....	16
2.4	LODO CENTRIFUGADO .....	17
2.5	BAGAÇO DE MANDIOCA .....	18
2.6	PELETIZAÇÃO .....	19
2.7	FATORES QUE AFETAM A PELETIZAÇÃO .....	20
2.7.1	Composição química da matéria-prima .....	20
2.7.2	Teor de umidade .....	20
2.7.3	Pressão e temperatura .....	21
2.7.4	Aglutinantes.....	21
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
3.1	COLETA DOS RESÍDUOS.....	22
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	22
3.2.1	Determinação do teor de umidade <i>in natura</i> dos resíduos .....	23
3.2.2	Análise imediata dos resíduos.....	23
3.2.2.1	Umidade .....	23
3.2.2.2	Teor de materiais voláteis .....	24
3.2.2.3	Teor de cinzas.....	24
3.2.3	Determinação do poder calorífico superior e inferior dos resíduos .....	25
3.3.1	Secagem .....	26
3.3.2	Trituração .....	26
3.3.3	Proporções utilizadas durante a mistura dos resíduos .....	27
3.4	PELETIZAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	28
3.5	CARACTERIZAÇÃO DOS PELLETS.....	28
3.5.1	Determinação do teor de umidade dos pellets .....	29
3.5.2	Análise imediata dos resíduos dos pellets.....	29

3.5.3	Determinação do poder calorífico dos pellets.....	29
3.5.4	Determinação da densidade a granel.....	29
3.5.5	Determinação da densidade energética .....	30
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO (equação no texto é com e maiusculo....</b>	<b>30</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	30
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS PELLETS .....	33
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A avicultura é uma das principais atividades socioeconômicas do Brasil, tanto para produção quanto para exportação (EMBRAPA, 2022). Durante o ciclo de produção avícola, a serragem ou maravalha são utilizadas como cama para as aves. A principal função da cama de aviário é evitar o contato direto das aves com o piso, ajudar a absorver a umidade, absorver dejetos e urina e reduzir as oscilações de temperatura dentro do aviário (NEITZKE, 2010). Ao final do ciclo de produção, a cama de aviário pode ser reaproveitada no próximo lote ou descartada, gerando uma alta quantidade de resíduo (BOTEGA, 2019).

Ao término do tempo de crescimento das aves de corte, essas são enviadas para abatedouros, onde ocorre o processamento da carne. Nessas unidades, ao longo dos processos acontece a geração de efluentes, que devem ser devidamente tratados antes de serem lançados em corpos hídricos atendendo os parâmetros definidos por lei, como exemplo a Resolução CONAMA nº430/11. Uma forma de tratamento de efluentes agroindustriais é a utilização de processos físico-químicos associados a sistemas de flotação para a remoção da matéria orgânica presente no efluente, gerando um resíduo denominado como lodo flotado (CAETANO, 2019). Esse lodo flotado possui um alto teor de umidade e para reduzir esse valor pode haver a instalação de centrífugas responsáveis por realizar o desaguamento, resultando em um lodo centrifugado com menor umidade (CERQUEIRA; AISSE, 2021). A destinação final do lodo é a etapa mais cara do tratamento de efluentes, podendo chegar a 60% do orçamento operacional. No Brasil, a destinação mais comum é o aterro sanitário (GODOY, 2013).

Além da avicultura, outro ramo presente no agronegócio é o processamento da mandioca para obtenção de amido. O Brasil produz cerca de 540 mil toneladas de fécula de mandioca por ano (IBGE, 2011), sendo que de acordo com Sartor (2021), o Paraná é o segundo Estado que mais produz mandioca no Brasil, atrás apenas do Pará. Durante essa produção é gerado o bagaço de mandioca, material fibroso da raiz que contém parte do amido que não foi possível extrair no processamento. Este resíduo é gerado na etapa de separação da fécula e por possuir muita água, apresenta teor de umidade maior que a própria matéria-prima, aproximadamente 85% (FIORDA, 2013).

Cama de aviário, lodo proveniente de tratamento de efluentes e bagaço de

mandioca são resíduos agroindustriais gerados em grandes quantidades. A destinação pode variar desde aplicação agrícola até o envio para aterros industriais. (quantidade

No entanto, apenas uma pequena parcela é enviada para fins energéticos, o que representa uma subutilização de biomassa com grande potencial para a geração de energia. Uma forma de aproveitar esses resíduos é através da queima em caldeira ou juntamente com o cavaco, ou ainda na produção de pellets, reduzindo a quantidade de resíduos destinados a aterros industriais (RODRIGUES, 2021). A produção de pellets para a queima possibilita a redução de consumo de combustíveis fósseis, sendo uma opção mais sustentável ao ser comparada com esses combustíveis. Porém, o aproveitamento de resíduos deve superar os desafios logísticos de transporte e os desafios técnicos ligados ao processo de peletização e consequente qualidade dos pellets produzidos.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Pereira *et al.* (2019), considera o pellet como um combustível ecológico advindo da secagem e compactação de biomassa, apresentando maior disponibilidade de energia por unidade de volume.

O mecanismo de compactação de resíduos e o uso energético dos pellets é uma alternativa atrativa devido à redução do consumo de combustíveis comprados de terceiros que geram custos para empresa. Tornando-se uma vantagem para as indústrias serem autosustentáveis com a queima em suas próprias dependências. A peletização permite também a padronização da biomassa, forma e tamanho definido que facilita a utilização nos sistemas de combustão (DALÓLIO, 2017).

De acordo com Dias (2012), existe uma grande quantidade de biomassa residual proveniente de atividades desenvolvidas no País que tem potencial para serem mais bem aproveitadas, especialmente na forma de pellets. A compactação dos resíduos agrícolas e florestais no Brasil é uma opção para vários setores agregarem valor aos resíduos produzindo um co-produto, reorganizando o cenário logístico dessa destinação e assegurando a redução de impactos ambientais. Dalólio (2017) ressalta que a implantação do consumo de pellets de resíduos reduz o fluxo de desmatamento clandestino de áreas rurais e agrícolas para suprir a demanda energética.

A produção de pellets de resíduos agroindustriais oferece vantagens econômicas, ambientais e operacionais. Mediante os impactos positivos da peletização e disponibilidade de resíduos, este trabalho visa avaliar a peletização de cama de aviário e lodo centrifugado em diferentes proporções, juntamente com a adição de bagaço de mandioca e amido, visando o aproveitamento desses resíduos na própria empresa, através da queima dos pellets em aquecedores de aviários, secadores de grãos ou até mesmo em geradores de vapor.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo da pesquisa foi avaliar o processo de peletização de misturas de cama de aviário e lodo de tratamento de efluentes de frigoríficos de aves, peixes e termoprocessados, bem como o uso do bagaço de mandioca e do amido de milho como agentes aglutinantes.

### 1.2.1 Objetivos específicos

- Caracterizar a cama de aviário, lodo centrifugado do tratamento de efluentes agroindustriais e do bagaço de mandioca, através de análise imediata;
- Produzir pellets com diferentes proporções de cama de aviário e lodo centrifugado tendo bagaço de mandioca e amido como aglutinantes;
- Comparar as características físicas dos pellets com a utilização de bagaço de mandioca para substituição do aglutinante comercial (amido);
- Caracterizar os pellets, através de análise imediata e densidade a granel.
- Estimar o poder calorífico dos resíduos e dos diferentes pellets produzidos.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 DEMANDA DE ENERGIA EM AGROINDÚSTRIAS

O segmento agrícola serve como base para fornecimento de matéria-prima como soja e milho para produção de rações que posteriormente são convertidas em proteína animal (CARMO, 2017). As instalações industriais destinadas ao

processamento de grãos para produção de rações demandam grande quantidade de energia, pois necessitam de uma etapa chamada de secagem dos grãos. Nesse momento, quando o teor de umidade dos grãos excede o valor ideal para armazenamento ocorre à utilização de equipamentos chamados comumente de secadores de grãos. Esses equipamentos realizam a secagem basicamente por trocas de calor e massa entre o ar do ambiente de secagem e os grãos. O ar é aquecido através da queima de algum combustível, geralmente madeira (DALPASQUALE, 2011).

No ramo avícola existe também a demanda de energia desde o início da produção de aves. De acordo com Vigoderis (2006), barracões destinados à engorda de frangos para corte devem ser equipados por sistemas de aquecimento, no intuito de proporcionar conforto térmico, que acarreta uma maior conversão. Segundo Ferreira (2004), os sistemas de aquecimento de aviários podem ser compostos por fornos que queimam pellets de madeira, toras de madeira ou gás, e dutos que direcionam o ar quente por todo barracão. A maior demanda de energia térmica ocorre no início do lote de produção que é quando os produtores recebem os pintainhos. A duração de cada lote dura em torno de 42 dias. Após esse período as aves são destinadas para frigoríficos e o produtor possui um intervalo de 10 a 15 dias para receber novamente outro lote de pintainhos (CARVALHO,2020).

Os frigoríficos de aves, peixes e demais unidade de processamento de carne, possuem uma alta demanda de água quente para diversos processos como higienização de equipamentos, barreiras sanitárias, higienização de facas e utensílios, torneiras para higienização das mãos, tanques de escaldagem para retirada de penas de aves, dentre outros (SPIGOLON, 2017). Para conseguir suprir essa demanda, os geradores de vapor saturado são implantados nos complexos industriais. O combustível sólido comumente utilizado para a queima nas fornalhas é a madeira, seja no formato de toras ou cavacos (EVARISTO, 2008). Logo, uma demanda constante de combústiveis é requerida.

## 2.2 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Durante os processos agroindustriais vários tipos de resíduos são gerados, sejam eles orgânicos, recicláveis ou não recicláveis. De acordo com Costa e Assahara (2020), do ponto de vista econômico e ambiental, esses materiais tem um



grande potencial de serem transformados em co-produtos úteis para as próprias indústrias. Com a incorporação de parte dos resíduos nos processos industriais, a quantidade de material que deverá ser descartada é reduzida, amenizando o problema ambiental relacionado ao lançamento de resíduos industriais no ambiente (SILVA, 2010).

A Política Nacional do Meio Ambiente, lei nº6.938/81, descreve que algumas atividades desempenhadas por agroindústrias são potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos naturais. Mediante a essa colocação é imprescindível que todos os recursos naturais envolvidos no processo produtivo desse segmento sejam aproveitados ao máximo, dispondo ao meio ambiente apenas materiais que não apresentem nenhuma forma de reutilização ou reciclagem. Essa mesma lei, incentiva estudos e pesquisas de tecnologias que proporcionem a proteção dos recursos ambientais (BRASIL,1981).

Costa e Assahara (2020) ressaltam que o desenvolvimento de novas tecnologias para a utilização de resíduos geram melhorias na qualidade ambiental, impactando positivamente em toda forma de vida do planeta.

Três tipos de resíduos gerados em agroindústrias são a cama de aviário, lodo centrifugado e bagaço de mandioca. Na Tabela 1 seguem algumas características desses resíduos.

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS ENCONTRADAS NA LITERATURA

Resíduo	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Carbono fixo (%)	PCS (MJ.kg-1)
Cama de aviário (NALEVAIKO,2021)	64,07	20,05	15,88	15,45
Lodo centrifugado (MANTOVAN, 2022)	92,72	7,03	6,77	27,9
Bagaço de mandioca (NALEVAIKO,2021)	81,68	1,44	16,88	18,69

FONTE: A autora (2022)

### 2.3 CAMA DE AVIÁRIO

A cama de aviário é um tipo de resíduo do segmento avícola. Trata-se de uma cobertura de maravalha que é adicionada por todo o chão de barracões de produção de frangos para corte, com o intuito de proporcionar um melhor desenvolvimento das aves evitando calos nos pés, absorvendo os dejetos, restos de ração e água que cai

dos bebedouros (AVILA, 2008).

O material utilizado para formar a cama pode ser produzido a partir de madeira e biomassas geradas em atividades agrícolas. De acordo com Cordelli (2003), esse tipo de cama possui teores de umidade em torno de 20 % e poder calorífico superior de  $9,634 \text{ kJ.kg}^{-1}$ . É natural que ao decorrer da produção de aves essas características mudem devido à própria degradação do material e a incorporação dos componentes absorvidos.

Em cada troca de lotes de produção, a cama de aviário é revirada e deve receber a aplicação de algum controlador de proliferação de bactérias. Um exemplo de microrganismo que deve ser controlado é a *Salmonella ssp.*, já que pode causar danos a saúde dos consumidores da proteína animal. Um produto usualmente aplicado é o cal virgem (CaO), cerca de 0,6 a 0,9 kg a cada metro quadrado ( $\text{m}^2$ ). Com a adição desse produto os teores de (CaO) na cama de aviário são aumentados (PRA, 2009).

De acordo com Konzen (2003), depois de alguns lotes toda a cama de aviário deve ser retirada e substituída por uma nova. A geração desse resíduo para descarte é de cerca de 1,75 kg de cama por frango.

O resíduo retirado é destinado na maioria das vezes para a aplicação agrícola em lavouras de grãos, por possuir parte dos nutrientes necessários para o desenvolvimento do metabolismo dos vegetais (MOURA, 2017). Embora a aplicação agrícola do resíduo seja a mais usual, existem dificuldades como a aplicação e variação da quantidade de nutrientes de um lote para outro, sendo necessário várias análises para o suprimento de forma precisa dos requisitos de produção agrícola, o que leva a vários agricultores adquirirem nutrientes químicos já prontos (CARVALHAL, 2014).

Visto que a quantidade de cama de aviário gerada por ano é elevada e que a aplicação agrícola possui limitações, Neitzke (2010), avaliou a peletização de cama de aviário para gaseificação e obteve, através da peletização de cama, pellets resistentes e com bons valores de densidade comparando a pellets de madeira.

## 2.4 LODO CENTRIFUGADO

O lodo centrifugado é um resíduo oriundo de sistemas de tratamento de efluentes que possuam equipamentos de desaguamento chamados de centrífugas.

Vários segmentos industriais geram esse tipo de resíduo. Um exemplo de ramo que gera esse resíduo são os frigoríficos de aves, peixes e demais unidades de processamento de carne, devido o tratamento de efluentes gerados ao longo da produção, conforme descrito de forma detalhada por Fagnani (2017).. Segundo a Embrapa (2021), o Brasil está classificado entre os principais produtores de proteína de frango do mundo. Isso impacta em uma elevada geração de lodo, já que de acordo com Rodrigues (2016) a estimativa é de que haja a produção de 25 g de lodo de lodo por quilograma de frangos abatidos.

A destinação final do lodo é a etapa mais cara do tratamento de efluentes, podendo chegar a 60% do orçamento operacional (CERQUEIRA; AISSE; 2021). Segundo Damaceno *et al.* (2019), os destinos são os aterros, compostagem e produção de biogás. Além desses destinos, Rodrigues (2016) aponta que a queima do lodo demonstra grande potencial, visto que o poder calorífico do lodo é elevado em comparação a outras biomassas já consolidadas para combustão direta.

Como a quantidade de lodo centrifugado gerada por ano é alta e a destinação para compostagem ou aterro é custosa, Rodrigues (2021), avaliou a peletização de lodo centrifugado e obteve pellets de qualidade e com boas características de resistência.

## 2.5 BAGAÇO DE MANDIOCA

O bagaço de mandioca é um resíduo gerado em indústrias voltadas ao processamento de mandioca para a obtenção de amido, conhecidas como amidonárias. Trata-se de um resíduo constituído por todo material fibroso da raiz de mandioca que contém parte do amido que não foi possível extrair durante processamento. Esse tipo de resíduo pode possuir teores de amido superiores a 50% (ZENATTI, 2015). Em testes para a produção de compósitos poliméricos a partir de bagaço, Menezes (2021) encontrou o valor de 67,55 % de amido no bagaço, constatando que a eficiência do processo de extração do amido da mandioca influencia diretamente a quantidade de amido presente.

Em termos de geração desse resíduo, Nobre (2019) indica que a cada tonelada de mandioca processada, são gerados 930 kg de resíduo úmido.

De acordo com Silva (2018), a tecnologia para o processamento desse tipo de resíduo não está totalmente desenvolvida, sendo que na atualidade, muitas vezes

são descartados de forma inadequada. A maior dificuldade é em relação à secagem devido ao elevado teor de umidade.

## 2.6 PELETIZAÇÃO

A norma ISO17225-6 define pellet como um biocombustível densificado feito a partir de biomassa moída com ou sem aditivos e possuindo a forma de cilindros. A produção de pellets possui vantagens relacionadas à facilidade de manuseio e transporte.

No processo de produção de pellets acontece a densificação do material, tornando a matéria-prima um combustível com potencialidades. Na peletização é possível padronizar a forma e tamanho do material, aumentando a densidade energética e reduzindo o teor de umidade (RODRIGUES, 2021). A peletização para a densificação de biomassa pode ser realizada a partir de prensas peletizadoras, máquinas que permitem a formação de pellets por meio da compactação da matéria-prima e elevação da temperatura devido ao atrito durante o processo (SCHROEDER, 2018).

De acordo com Souza (2021), a compactação em pellets aumenta o conteúdo calorífico do material por unidade de volume e a maior facilidade de transporte e processos de armazenamento. De acordo com Neitzke (2010), pellets podem ser destinados para gerar energia elétrica ou térmica, tornando-se uma saída vantajosa para o aproveitamento de resíduos agroindustriais.

A principal dificuldade no aproveitamento desses resíduos para geração de energia está relacionada ao teor de umidade do material, que muitas vezes requer secagem prévia, dificultando o processo de peletização e encarecendo a produção.

A produção de pellets para queima é recorrentemente utilizada para densificação de Pinus e Eucalyptus, por apresentarem poder calorífico superior que gira em torno de  $20 \text{ MJ.kg}^{-1}$  (GARCIA *et al.*, 2019). Embora menos frequente, a peletização de resíduos como lodo primário também oferece algumas características semelhantes as biomassas convencionais, como poder calorífico de  $17 \text{ MJ.kg}^{-1}$  (RODRIGUES, 2021). Já para a cama de aviário, Neitzke (2010), encontrou valores de poder calorífico superior em cerca de  $13 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . O poder calorífico é a quantidade de energia liberada na forma de calor durante a combustão completa, logo, é um parâmetro importante ao se tratar de peletização de resíduos para

queima.

## 2.7 FATORES QUE AFETAM A PELETIZAÇÃO

A obtenção de pellets de qualidade depende de alguns fatores como a temperatura da matriz, pressão sobre o material, o teor de umidade, composição química e granulometria dos resíduos (RODRIGUES, 2021)

### 2.7.1 Composição química da matéria-prima

A composição química dos resíduos, pode ser danosa para equipamentos de combustão gerando corrosões e inscrustações, pois alguns componentes como o nitrogênio, enxofre e cloro podem aumentar as emissões de gases prejudiciais durante a queima. O teor de cinzas e metais pesados nos resíduos pode variar muito, mas se estiverem em grandes quantidades podem promover contaminação do ar e provocar corrosão nos equipamentos (RODRIGUES, 2021).

De acordo com Rodrigues (2021), os pellets podem apresentar melhores propriedades mecânicas quando há a presença de lignina nas matéria-prima a serem peletizadas. Isso acontece, pois a lignina ao atingir 70°C começa a plasticizar, ficando maleável e provocando uma melhor adesão das partículas durante o processo (SIQUEIRA, 2017).

### 2.7.2 Teor de umidade

A umidade tem grande influência durante a produção, sendo que o ideal dos resíduos para o processo de peletização se encontra entre 8-12%. Teores elevados de umidade resultam em pellets com menor densidade e elevada geração de finos (CASTRO *et al.*, 2021).

Segundo Tumuluru (2011), o teor de umidade do material, juntamente com a temperatura e pressão do processo, desempenha um papel fundamental na aglutinação de moléculas orgânicas como amido e proteínas, melhorando a densificação das amostras. No entanto, o teor excessivo de umidade dificulta a adesão das partículas. O teor de umidade pode influenciar na densificação de três

maneiras: reduzindo a temperatura abaixo da transição vítrea, evitando o amolecimento e a adesão entre as partículas por forças de Van der Waal's (TUMULURU, 2011).

### 2.7.3 Pressão e temperatura

Em geral, o processo de peletização ocorre em altas temperaturas, que podem atingir cerca de 110-130 °C, como resultado do atrito e da pressão de 210-450 MPa, gerada devido a fricção. Temperaturas elevadas ajudam a compactar e deixar os pellets mais resistentes devido a *plasticização* da lignina. Com os pellets prontos o resfriamento dos mesmos é de suma importância para garantir que a lignina dos pellets endureça e atribua rigidez a eles (BARROS, 2013).

A pressão de compactação varia de acordo com o tipo de matéria-prima a ser densificada. Quanto maior a pressão exercida, maior o gasto energético pela prensa de pellets. Desta forma, o aumento da pressão resulta em um aumento significativo na densidade aparente de um pellet (TUMULURU, 2011).

### 2.7.4 Aglutinantes

Além da matéria-prima a ser peletizada, pode ser adicionado aditivos a mistura, que são substâncias orgânicas com finalidade de melhorar as propriedades dos pellets. Nesse contexto, o principal aditivo usado é o amido (SIQUEIRA, 2017). Para adicioná-los existe uma norma europeia de comercialização que estabelece o valor máximo que pode ser incorporado à mistura, ela o define como sendo 2% da massa total dos pellets (DIN EN 14961-2, 2011). Essa mesma norma, exige também que os valores de densidade a granel sejam maiores ou iguais a 600 kg.m<sup>-3</sup>.

### 2.7.5 Tamanho das partículas da matéria prima

O tamanho dequado das partículas é um fator importante a ser considerado por permitir a formação de um combustível mais denso. Pode ser facilmente controlado por meio de moedores e peneiras. O ideal é que o material possua diâmetro de 3 milímetros e seja homogêneo (CLARKE; PRETO, 2011).

Para a utilização de matérias primas que possuam partículas com o diâmetro maior do que cada furo da matriz de compactação é fundamental que o material seja triturado antes de iniciar o processo de peletização (WARAJANONT; SOPONPONGPIPAT, 2013).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 COLETA DOS RESÍDUOS**

A coleta da cama de aviário foi realizada em uma unidade produtora de aves para corte localizada no município de Palotina – PR. O resíduo já havia sido utilizado em oito lotes de produção. Foram coletados cerca de 200 kg de resíduo em um único ponto do aviário e foram transportados através de sacos até o laboratório para dar início às análises após a coleta.

O lodo foi coletado após a etapa de centrifugação dos resíduos gerados em flotores de um sistema de tratamento físico-químico de efluentes que utiliza como coagulante o cloreto férrico. O efluente direcionado para a estação de tratamento é proveniente de um frigorífico de aves, um de peixes e uma planta de alimentos termoprocessados, localizados no município de Palotina – PR. A coleta foi realizada em vários pontos e transportada com a utilização de 8 baldes de 15 kg até o laboratório para dar início às análises após a coleta.

O bagaço de mandioca foi adquirido em uma indústria para produção de amido modificado de mandioca, localizada em Terra Roxa – PR. A coleta foi realizada em um único ponto e transportada com a utilização de 4 baldes de 15 kg até o laboratório para dar início às análises após a coleta.

#### **3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS**

Foram separadas amostras de cada um dos resíduos no dia da coleta a fim de representar as características reais de cada resíduo utilizado para a peletização. Para analisá-las foi necessário um pré-tratamento, que consistiu em realizar a secagem em estufa a 105°C por 24 horas. Em seguida as amostras foram trituradas em um moinho de facas e peneiradas para obter a granulometria de 1 mm.

### 3.2.1 Determinação do teor de umidade *in natura* dos resíduos

O teor de umidade *in natura* foi determinado seguindo a norma ASTM E871-82. Um bequer de 100 mL seco e limpo foi pesado e sua massa anotada (m1). Em seguida transferiu-se cerca de 2,0000 g de amostra para o béquer e a massa foi anotada (m2). O béquer com a amostra foi levado à estufa mantida a  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  por um período de 24 horas. Após esse período o béquer com a amostra foi transferida para um dessecador até esfriar e realizar novamente pesagem (m3).

O teor de umidade *in natura* dos resíduos foi calculado de acordo com a equação (1).

$$W(\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

W: teor de umidade *in natura*  
 m1: massa do béquer seco e limpo (g);  
 m2: massa do béquer com a amostra antes da secagem (g);  
 m3: massa do béquer com a amostra após a secagem (g).

### 3.2.2 Análise imediata dos resíduos

Após o preparo das amostras foi realizada a caracterização dos resíduos antes da peletização, realizando a análise imediata seguindo as normas ASTM E871-82 (1982a), ASTM E872-82 (1982b) e D1102-84 (1984).

#### 3.2.2.1 Umidade

Um cadinho de 30 mL seco e limpo foi pesado (m2), sendo também pesado o cadinho junto com tampa (m5). Em seguida transferiu-se cerca de 1 g de amostra para o cadinho e a massa foi registrada (m1). O cadinho com a amostra foi levado à estufa mantida a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  por um período de 24 horas. Após esse período o cadinho com a amostra foi transferida para um dessecador até esfriar e realizar novamente pesagem (m3).

O teor de umidade dos resíduos foi calculado seguindo a equação (2).



$$W(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

W: teor de umidade  
 m1: amostra inicial (g);  
 m2: massa do cadinho (g);  
 m3: amostra final seca com cadinho(g);

### 3.2.2.2 Teor de materiais voláteis

O cadinho tampado, com a amostra seca a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , foi levado para uma mufla aquecida a temperatura de  $950^\circ\text{C}$  e mantido dentro da mufla por 7 minutos. Após esse período foi transferido para um dessecador e deixado esfriar. Depois de frio, o cadinho tampado com amostra foi pesado e a massa registrada ( $m_4$ ).

O cálculo do percentual de material volátil foi realizado seguindo a equação (3).

$$MV(\%) = \frac{(m_3 - m_2) - (m_4 - m_5)}{(m_3 - m_2)} \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:

MV: teor de materiais voláteis;  
 m3: amostra final seca com cadinho(g);  
 m2: massa do cadinho (g);  
 m4: amostra após a determinação de voláteis com cadinho e tampa (g);  
 m5: massa do cadinho + tampa (g).

### 3.2.2.3 Teor de cinzas

Após a determinação de materiais voláteis, o cadinho destampado e a tampa foram colocados na mufla a temperatura ambiente, sendo a temperatura aumentada lentamente até  $580-600^\circ\text{C}$ . Depois de atingir a temperatura desejada a amostra foi mantida na mufla por 30 min. Ao término do tempo o cadinho com amostra e a tampa foi transferida para um dessecador até esfriar e então pesar ( $m_6$ ).

O cálculo do percentual de cinzas foi realizado seguindo a equação (4).

$$CZ(\%) = \frac{m_6 - m_5}{(m_3 - m_2)} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

CZ: teor de cinzas;  
 m3: amostra final seca com cadinho(g);  
 m2: massa do cadinho (g);  
 m6: massa após a obtenção das cinzas (g);  
 m5: massa do cadinho + tampa (g).

#### 3.2.2.4 Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo é determinado pela diferença entre teor de voláteis e cinzas, seguindo a equação (5).

$$CF(\%) = 100 - (MV + CZ) \quad (5)$$

Onde:

CF: teor de carbono fixo  
 MV: teor de materiais voláteis;  
 CZ: teor de cinzas.

#### 3.2.3 Determinação do poder calorífico superior e inferior dos resíduos

Para determinar o poder calorífico superior (PCS) foi utilizado uma correlação proposta pela FAO (2012), que se baseia nos resultados da análise imediata da amostra. A estimativa do PCS foi calculada utilizando a equação (6).

$$PCS = 20 \cdot (1 - CZ - W) \quad (6)$$

Onde:

PCS: poder calorífico superior(kJ.kg<sup>-1</sup>);  
 CZ: teor de cinzas;  
 W: teor de umidade.

Para determinar o poder calorífico inferior (PCI) também foi utilizado uma correlação proposta pela FAO (2012), utilizando a equação (7).

$$PCI = 18,7 \cdot (1 - CZ) - (21,2 \cdot W) \quad (7)$$

Onde:

PCI: poder calorífico inferior (kJ.kg<sup>-1</sup>);  
 CZ: teor de cinzas;  
 W: teor de umidade.

### 3.3 PREPARO DOS RESÍDUOS PARA PELETIZAÇÃO

#### 3.3.1 Secagem

Para eliminar residuais de umidade da cama de aviário o resíduo foi levado à estufa a 105°C até atingir de 10-12 % de umidade. A cada 30 minutos uma amostra foi retirada para acompanhar a redução de umidade, sendo necessário o tempo de 3 horas para finalizar o ajuste. Após o ajuste de umidade a cama de aviário foi guardada em sacos vedados para conservação da umidade desejada.

Para eliminar residuais de umidade do lodo centrifugado e do bagaço de mandioca, todo material foi seco em estufa a temperatura de 75°C por 24 horas. Em seguida foi adicionado água através de um borrifador até atingir de 10-12 % de umidade.

#### 3.3.2 Trituração

Os três resíduos utilizados não possuíam uniformidade em suas partículas, então foi necessário padronizar o material passando-o por um triturador forrageiro da marca Tramontina TRF25 com motor 2HP com peneira de abertura de 3 mm. Na Figura 1, estão os resíduos secos antes da trituração.

FIGURA 1 - RESÍDUOS APÓS SECAGEM: CAMA DE AVIÁRIO, LODO CENTRIFUGO E BAGAÇO DE MANDIOCA, RESPECTIVAMENTE



FONTE: A AUTORA (2022)

### 3.3.3 Proporções utilizadas durante a mistura dos resíduos

O experimento foi dividido em três tipos de testes:

- Peletizar misturas de cama de aviário e lodo centrifugado, sem utilização de aglutinantes (CL);
- Peletizar misturas de cama de aviário e lodo centrifugado, usando bagaço de mandioca como aglutinante (CLB);
- Peletizar misturas de cama de aviário e lodo centrifugado, usando amido como aglutinante (CLA);

A cama de aviário foi escolhida como componente principal das misturas, sendo assim, para cada combinação, (CL), (CLB) e (CLA), foram produzidos pellets sem a presença de lodo, identificados com (0%). Nas demais amostras identificadas com (10%) e (20%), o valor de percentual refere-se à quantidade de lodo que foi agregada na cama de aviário.

Para avaliar quais misturas apresentaram melhores características dos pellets e para avaliar a comparação de um aglutinante convencional (amido) com um aglutinante alternativo (bagaço), a Tabela 2 foi seguida para realizar o preparo das misturas.

TABELA 2 - PROPORÇÕES UTILIZADAS NAS MISTURAS

	Cama de aviário (%)	Lodo centrifugado (%)	Bagaço de mandioca (%)	Amido (%) <sup>1</sup>
CL 0%	100	0	0	0
CL 10%	90	10	0	0
CL 20%	80	20	0	0
CLB 0%	98	0	2	0
CLB 10%	88	10	2	0
CLB 20%	78	20	2	0
CLA 0%	98	0	0	2
CLA 10%	88	10	0	2
CLA 20%	78	20	0	2

FONTE: A autora (2022).

Nota 1: Limite de 2% estabelecido pela norma DIN EN 14961-2, 2011.

Onde:

- CL 0%: Cama de aviário pura;
- CL 10%: Cama de aviário e 10% de lodo;
- CL 20%: Cama de aviário e 20% de lodo;
- CLB 0%: Cama de aviário e 2% bagaço de mandioca;
- CLB 10%: Cama de aviário, 10% de lodo e 2% bagaço de mandioca;
- CLB 20%: Cama de aviário, 20% de lodo e 2% bagaço de mandioca;
- CLA 0%: Cama de aviário e 2% amido;
- CLA 10%: Cama de aviário, 10% de lodo e 2% amido;
- CLA 20%: Cama de aviário, 20% de lodo e 2% amido.

### 3.4 PELETIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

A peletização das misturas foi realizada na empresa HMbio Energias Renováveis em Toledo – PR, em uma prensa peletizadora da marca ATX com matriz de peletização com orifícios de 6 mm. Para cada ensaio foram preparados 20 kg de material. Primeiramente 10 kg foram utilizados para ambientar a prensa peletizadora e posteriormente serem descartados para minimizar contaminações de um ensaio para outro. Os outros 10 kg foram peletizados e o material coletado para ser analisado.

### 3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS PELLETS

Foram separadas amostras de cada tipo de pellets produzidos a fim de representar de forma eficaz as características dos pellets. Para analisá-las foi necessário um pré-tratamento, que consistiu em triturar as amostras de pellets em um triturador forrageiro da marca Tramontina TRF25 com motor 2HP com peneira de abertura de 3 mm e posteriormente em um moinho de facas, peneirando ao final

para obter a granulometria de 1 mm.

### 3.5.1 Determinação do teor de umidade dos pellets

Após a obtenção dos pellets, foi determinado o teor de umidade. Foi utilizado um bequer de 100 mL seco, limpo e pesado e essa massa anotada (m1). Em seguida transferiu-se cerca de 30 g de pellets para o béquer e a massa foi anotada (m2). O béquer com os pellets foi levado à estufa mantida a  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  por um período de 24 horas. Após esse período o béquer com a amostra foi transferida para um dessecador até esfriar e realizar novamente pesagem (m3).

O teor de umidade dos pellets foi calculado seguindo a equação (8).

$$W(\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad (8)$$

Onde:

W: teor de umidade *in natura*

m1: massa do béquer seco e limpo(g);

m2: massa do béquer com a amostra antes da secagem (g);

m3: massa do béquer com a amostra após a secagem (g).

### 3.5.2 Análise imediata dos resíduos dos pellets

Foi realizada a análise imediata dos pellets seguindo as normas ASTM E871-82 (1982a), ASTM E872-82 (1982b), D1102-84 (1984), conforme já descrito para a análise dos resíduos.

### 3.5.3 Determinação do poder calorífico dos pellets

O poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI) foram utilizadas as correlações propostas pela FAO(2012) (equação 6 e 7), conforme já descrito para a análise dos resíduos.

### 3.5.4 Determinação da densidade a granel

A determinação da densidade a granel dos pellets foi realizada seguindo a

EM 15103 (DIN, 2012). Uma proveta de 1 litro foi colocada em uma balança e em seguida o equipamento foi zerado. Aos poucos foram adicionados pellets dentro da proveta até atingir o volume máximo da proveta e então a massa de pellets foi aferida. A densidade a granel foi calculada a partir da equação (9).

$$D = \frac{m}{V} \quad (9)$$

Onde:

D: densidade a granel ( $\text{g.L}^{-1}$ );  
 m: massa dos pellets (g);  
 V: volume da proveta (L).

### 3.5.5 Determinação da densidade energética

A determinação da densidade energética dos pellets foi realizada seguindo a equação (10).

$$D1 = \text{PCS} \cdot D \quad (10)$$

Onde:

D1: densidade a granel ( $\text{kJ.m}^{-3}$ );  
 PCS: poder calorífico superior ( $\text{kJ.kg}^{-1}$ )  
 D: densidade a granel ( $\text{kg.m}^{-3}$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO (EQUAÇÃO NO TEXTO É COM E MAIUSCULO)

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Os teores de umidade *in natura* obtidos nas análises dos resíduos estão na Tabela 3.

TABELA 3 - TEOR DE UMIDADE *in natura* DOS RESÍDUOS

Resíduo	Teor de umidade (%)	
Cama de aviário	20,91	± 0,73
Lodo centrifugado	61,66	± 0,24
Bagaço de mandioca	90,75	± 0,12

FONTE: A autora (2022)

A cama de aviário foi o resíduo com teor de umidade mais reduzido, em torno de 20,91 % de umidade. Grandó (2020), encontrou valores de umidade para cama

de aviário de 27,30%, um teor mais elevado que o encontrado nesse estudo. No entanto, Grando (2020) justifica que a cama de aviário na produção de aves para corte pode sofrer alterações na quantidade de água por agregar mais ou menos urina e a mistura de água derramada de bebedouros e sistemas de controle da temperatura.

Nalevaiko *et al.* (2021), encontrou o teor de umidade de 17,84 % para cama de aviário e 90,41% para bagaço de mandioca, o último ficando bem próximo do resultado obtido pela análise do teor de umidade *in natura* do bagaço de mandioca em estudo. O bagaço de mandioca foi o resíduo com teor de umidade mais elevado, acima de 90 % de umidade. Menezes (2021), também avaliou o teor de umidade do bagaço de mandioca e obteve o valor de 85,87%. Carvalho *et al.* (2018) também, chegaram a valores elevados de umidade, 84,21%. Os elevados teores de umidade refletem a dificuldade de várias empresas que processam mandioca em encontrar formas economicamente viáveis para a secagem do bagaço, refletindo em algumas instalações industriais que não possuem sistemas robustos de secagem (JASKO, 2011).

O teor de umidade do lodo centrifugado foi de 61,66 %. Lima (2014) encontrou 41,72 % de umidade. Essa quantidade de umidade mais acentuada ou reduzida, está diretamente relacionada ao processo de centrifugação desse resíduo que não permite a redução de 100% da umidade, podendo sofrer variações na eficiência dos equipamentos de desaguamento em decorrência de oscilações do processo de tratamento dos efluentes (DAVID, 2002).

Os resultados da análise imediata dos resíduos estão na Tabela 4.

TABELA 4 - ANÁLISE IMEDIATA DOS RESÍDUOS EM BASE SECA

Resíduo	Teor de voláteis (%)		Teor de cinzas (%)		Carbono fixo (%)	
Cama de aviário	57,58	± 0,09	34,42	± 0,14	8,01	± 0,15
Lodo centrifugado	86,30	± 0,96	7,58	± 0,36	6,12	± 1,08
Bagaço de mandioca	84,55	± 0,80	2,34	± 0,03	13,11	± 0,83

FONTE: A autora (2022)

Pereira (2019) analisou o teor de voláteis de cama de aviário após o primeiro lote de produção de aves e o segundo, resultando em 70,69% e 64,35%, respectivamente, e então concluiu que o teor de voláteis diminui ao passar dos lotes de produção de aves, indicando a degradação do material com o passar do tempo.



Pereira (2019) também observou que o efeito inverso aconteceu em relação ao teor de cinzas, que aumentou de 12,76% (1º lote) para 16,74% (2º lote). A cama de aviário utilizada nesse estudo foi retirada no oitavo lote de produção e apresentou 57,58% de voláteis, indicando que parte do material já havia sido degradado e em contrapartida a quantidade de cinzas foi mais elevada ficando em torno de 34,42%. Ambos resultados ficaram dentro do esperado para cama de aviário de lotes mais velhos.

Os valores da análise imediata do lodo centrifugado ficaram próximos aos encontrados por Bueno (2022), que avaliou características do lodo de um tratamento de efluentes de frigorífico de aves e obteve valores de teor de voláteis de 83,94%, teor de cinzas 2,86 % e carbono fixo de 13,21%. Fagnani (2017), realizou análise imediata de lodo centrifugado e obteve cerca de 83% de teor de voláteis, 9% de teor de cinzas e 8 % de carbono fixo.

Nalevaiko *et al.* (2021), encontrou resultados próximos a este trabalho ao analisar o bagaço de mandioca, resultando em 81,68% teor de voláteis, 1,44% teor de cinzas e teor de carbono fixo de 16,88%.

Os resultados de poder calorífico dos resíduos estão na Tabela 5. Tombini (2016) encontrou o poder calorífico superior de 14,24 MJ.kg<sup>-1</sup> em base seca, para cama de aviário destinada a produção de aves para corte. Steffler (2018) obteve 15,45 MJ.kg<sup>-1</sup> em base seca, de poder calorífico superior da cama de aviário. Após realizar análises de lodo centrifugado de um tratamento físico químico com cloreto férrico como coagulante, Mantovan (2022) obteve o poder calorífico superior de aproximadamente 27 MJ.kg<sup>-1</sup>, em base seca e livre de cinzas, para esse resíduo. E Steffler (2018) obteve 18,69 MJ.kg<sup>-1</sup> de poder calorífico superior para bagaço de mandioca em base seca, sendo o resíduo com maior PCS avaliado por ele. Esses resultados ficaram próximos aos encontrados neste estudo através das correlações aplicadas.

TABELA 5 - PODER CALORÍFICO DOS RESÍDUOS

Resíduo	PCS [MJ.kg <sup>-1</sup> base seca]	PCI [MJ.kg <sup>-1</sup> base seca]
Cama de aviário	13,12	12,26
Lodo centrifugado	18,48	17,28
Bagaço de mandioca	19,53	18,26

FONTE: A autora (2022).

Comparando o PCS em base seca dos resíduos com o PCI dos resíduos *in natura* ocorreu significativa redução do poder calorífico, principalmente para o bagaço de mandioca. Esse mesmo comportamento ocorreu nos estudos dos autores citados acima, devido ao cálculo de PCI em base úmida descontar o calor latente contido no vapor da água presente no combustível, sobrando apenas a energia que poderá ser utilizada posteriormente.

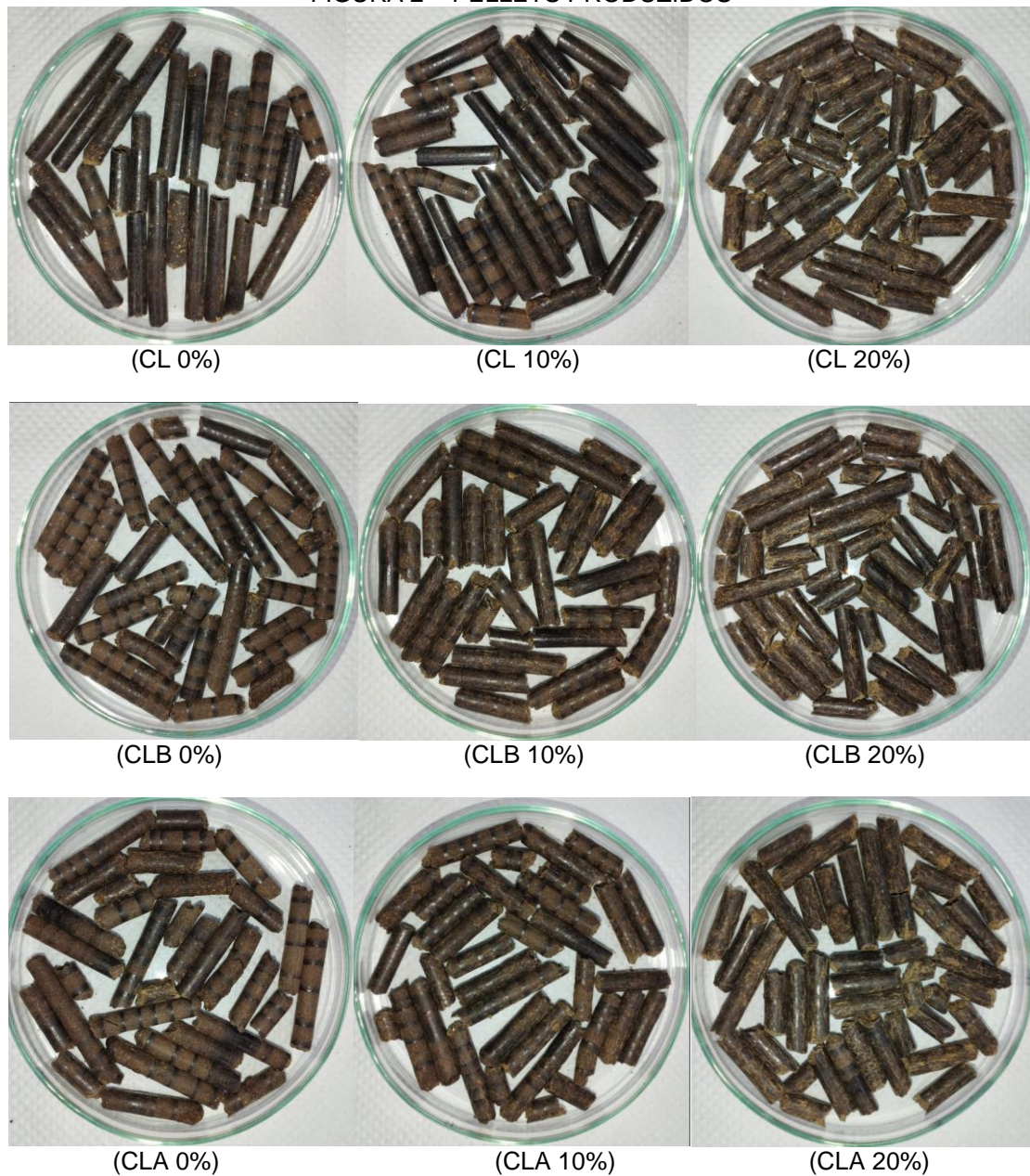
Mediante a caracterização dos resíduos é possível afirmar que a utilização da cama de aviário oferece vantagens em relação ao lodo e ao bagaço. Uma das vantagens da cama é ter sido o resíduo com menor teor de umidade, que vai impactar não só no PCI do combustível, mas também nos processos de secagem desse material para ser destinado a peletização, pois demanda de menor consumo de energia para a correção da umidade para 10-12%.

Em contrapartida, a cama de aviário foi o resíduo com maior teor de cinzas. Os baixos teores de cinzas do lodo centrifugado e do bagaço são positivos, uma vez que trata-se de uma parcela de material que não vai participar da combustão, passando pelos equipamentos de queima e tendo que ser posteriormente destinados para descarte, gerando custo com manuseio e transporte.

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PELLETS

A peletização dos resíduos resultou em nove tipos de pellets que estão apresentados na Figura 2. Os pellets que apresentaram maiores comprimentos e mais resistentes foram aqueles que não continham lodo, (CL 0%), (CLB 0%) e (CLA 0 %). Com a adição de 10 % e 20% de lodo nas misturas testadas, os pellets formados apresentaram comprimentos menores, indicando que a inclusão de lodo tornou os pellets mais quebradiços.

FIGURA 2 – PELLETS PRODUZIDOS



FONTE: A autora (2022)

Ao comparar as misturas contendo 20% de lodo, é possível notar que a presença de 2% de bagaço (CLB 20%) e 2% de amido (CLA 20%) asseguraram a formação de pellets maiores do que o teste controle para 20% de lodo (CL 20%), sem nenhum tipo de aglutinante, assim como esperado, visto que o amido é classificado como um aglutinante eficaz e que o bagaço de mandioca possui teores elevados de amido (50-65%).

Rezvani (2014), encontrou bons resultados após evidenciar o aumento da resistência mecânica dos pellets produzidos devido a ação dos aglutinantes adicionados. Porém, ressaltou que a adição desses agentes nas misturas como o

amido vendido comercialmente, pode acarretar a redução do poder calorífico pelo aumento de cinzas, em decorrência de adições elevadas.

O teor de umidade dos pellets produzidos é inferior ao dos resíduos *in natura*, devido ao preparo dos materiais e a própria compactação na peletizadora. Os valores de umidade encontrados nos testes estão na Tabela 6, variando de 8 até cerca de 11 %.

TABELA 6 - TEOR DE UMIDADE DOS PELLETS

Pellets	Teor de umidade (%)	
CL 0%	8,18	± 0,12
CL 10%	8,92	± 0,16
CL 20%	10,24	± 0,25
CLB 0%	11,39	± 0,01
CLB 10%	10,94	± 0,14
CLB 20%	9,59	± 0,22
CLA 0%	8,94	± 0,06
CLA 10%	11,79	± 0,03
CLA 20%	10,86	± 0,06

FONTE: A autora (2022)

A análise imediata dos pellets está apresentada na Tabela 7. Com o aumento da proporção de lodo saindo de 0% a 20%, foi possível avaliar uma redução no teor de cinzas de 35 para 30%, reduzindo em cerca de 5 % nos testes com bagaço e amido. O fato de ocorrer redução do teor de cinzas é uma vantagem, já que essa porcentagem do material não sofre combustão (PEREIRA; SEYE, 2014). Por outro lado o teor de cinza do teste sem aglutinantes não seguiu essa redução de 5%.

A mistura dos resíduos e a peletização na prensa acabam agregando interferências nos testes como possíveis contaminações, visto que a quantidade de material testada se deu através de bateladas de 20 kg de forma sequencial podendo ter ocorrido desvios não mensurados, como contaminação de um trataento com outro que possivelmente podem ser evitados com volumes maiores de amostras.

TABELA 7 - ANÁLISE IMEDIATA DOS PELLETS EM BASE SECA

Pellets	Teor de voláteis (%)		Teor de cinzas (%)		Carbono fixo (%)	
CL 0%	54,26	± 0,98	37,46	± 0,59	8,28	± 0,41
CL 10%	56,34	± 0,72	35,93	± 1,66	7,72	± 1,38
CL 20%	55,99	± 0,46	37,77	± 3,31	6,24	± 2,85
CLB 0%	57,56	± 0,16	35,19	± 0,62	7,24	± 0,78
CLB 10%	61,30	± 0,94	30,77	± 0,66	7,93	± 0,69
CLB 20%	61,90	± 0,65	30,07	± 0,07	8,36	± 0,38
CLA 0%	57,84	± 1,06	35,25	± 0,59	6,90	± 0,53
CLA 10%	61,59	± 1,26	32,15	± 1,38	6,26	± 2,57
CLA 20%	61,76	± 0,76	30,19	± 0,38	8,04	± 1,14

FONTE: A autora (2022)

O poder calorífico dos pellets está apresentado na Tabela 8. A maioria dos pellets ficaram com valores menores de PCS em comparação com os resíduos puros. Essa diferença ocorre principalmente ao comparar o lodo puro e bagaço puro com os pellets, pelo fato de que a maior parcela de resíduo utilizado nas misturas é a cama de aviário. A diferença entre PCS e PCI dos pellets foi menor ao comparar com os resíduos *in natura*, devido ao ajuste de umidade realizado para o processo de peletização. Os baixos teores de umidade desses combustíveis, vistos na Tabela 5, refletem de forma positiva para a destinação dos pellets à combustão.

TABELA 8 - PODER CALORÍFICO DOS PELLETS

Pellet	PCS [MJ.kg <sup>-1</sup> base seca]	PCI [MJ.kg <sup>-1</sup> base seca]	PCI [MJ.kg <sup>-1</sup> base úmida]
CL 0%	12,51	11,69	10,74
CL 10%	12,81	11,98	10,91
CL 20%	12,45	11,64	10,44
CLB 0%	12,96	12,12	10,74
CLB 10%	13,85	12,95	11,53
CLB 20%	13,99	13,08	11,82
CLA 0%	12,95	12,11	11,02
CLA 10%	13,57	12,69	11,19
CLA 20%	13,96	13,05	11,64

FONTE: A autora (2022)

Os resultados referentes à densidade a granel dos pellets produzidos neste trabalho estão apresentados na Tabela 9. De modo geral todas as misturas testadas resultaram em valores próximos a 700 kg.m<sup>-3</sup>. Garcia (2013) produziu pellets de madeira e obteve valores de densidade a granel de 650 kg.m<sup>-3</sup>. O

parâmetro de densidade é de suma importância quando os pellets são destinados para a combustão, uma vez que o aumento da densidade melhora a eficiência de queima, pois está diretamente ligado a quantidade de energia presente no material, visto que com o aumento da densidade a granel ocorre conseqüentemente o aumento da densidade energética (GADELHA *et al.*, 2013) .

TABELA 9 - DENSIDADE A GRANEL E ENERGÉTICA DOS PELLETS

Pellets	Densidade a granel (kg.m <sup>-3</sup> )		Densidade energética (GJ.m <sup>-3</sup> )
CL 0%	709,50	± 6,36	10,31
CL 10%	702,50	± 3,54	10,42
CL 20%	702,50	± 3,54	10,16
CLB 0%	692,50	± 3,54	10,37
CLB 10%	705,00	± 7,07	11,18
CLB 20%	700,00	± 35,36	11,20
CLA 0%	697,50	± 10,61	10,44
CLA 10%	692,50	± 38,89	10,79
CLA 20%	685,00	± 21,21	10,95

FONTE: A autora (2022).

Neitzke (2010) determinou a densidade da cama de aviário *in natura* e obteve valores de cerca de 287 kg.m<sup>-3</sup>, por se tratar de um resíduo poroso, com composição variada e polidisperso. Posteriormente peletizou a cama e atingiu valores de densidade a granel próximos a 530 kg.m<sup>-3</sup>, ou seja, o processo de peletização proporcionou um aumento de 1,8 vezes aproximadamente. Esse mesmo comportamento pode se estender aos presentes testes realizados com cama de aviário e lodo centrifugado, já que os pellets atingiram ao final do processo valores de 700 kg.m<sup>-3</sup>.

Foi possível constatar que a interação entre os materiais utilizados, nas proporções testadas, possibilitou uma boa densificação. No entanto, notou-se também que aumentar o teor de lodo centrifugado nas misturas acima do limite testado (20%) deve ser avaliado com cuidado, visto que em 20 % os pellets já ficaram mais quebradiços em relação aos outros ensaios.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, a disponibilidade dos resíduos na região possibilita a peletização e posterior aplicação do combustível. Através das características encontradas na caracterização dos resíduos e dos pellets, foi possível identificar o aumento do teor de voláteis com o aumento de lodo, sendo um comportamento inverso para o teor de cinzas.

Dentre as combinações de resíduos foi possível obter pellets com bons tamanhos, sendo reduzidos com o aumento da proporção de lodo nas misturas. Em relação à utilização do bagaço de mandioca, conclui-se que atendeu de forma similar as características proporcionadas pelo amido, mesmo sendo utilizado apenas 2% em relação a todo material peletizado.

As proporções de resíduos testadas foram favoráveis, portanto a escolha da cama de aviário como principal constituinte, lodo centrifugado como um constituinte secundário e bagaço de mandioca como aglutinante balancearam os pontos positivos e negativos da utilização de cada resíduo.

Portanto, o presente trabalho classifica a utilização de cama de aviário, lodo centrifugado e bagaço de mandioca, como uma importante forma de aproveitamento energético desses resíduos, ao produzir pellets com alta densidade e baixo teor de umidade.

## 6 TRABALHOS FUTUROS

Com a finalização desse estudo, estão descritas a seguir sugestões para trabalhos futuros:

- Determinação do poder calorífico dos resíduos e pellets em bomba calorimétrica;
- Análise elementar dos resíduos e pellets;
- Testes de queima dos pellets produzidos e análise comparativa com a queima de pellets de madeira;
- Análise de viabilidade econômica.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM D1755 – 15: Ash in Biomass, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM E871 – 82 (2019): Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels, 2019a.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM E872 – 82 (2019): Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels, 2019b.

AVILA, V. S. de *et al.* Avaliação de materiais alternativos em substituição à maravalha como cama de aviário. **Revista Brasileira de Zootecnia**, p. 273-277, 2008.

BARROS, C. S. A. **Produção de Pellets para valorização de resíduos provenientes da indústria corticeira**. 2013.

BOTEGA, J. L. *et al.* **Compostagem e caracterização físico-química de substrato de cama de aviário**: estudo de caso. 2019.

BRASIL. Lei nº6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa Brasil**, Brasília, 1981.

BUENO, V. M. **Caracterização físico-química de resíduos de abatedouro de frangos**. 2022.

CAETANO, S. M. **Proposta de melhoria no tratamento de efluentes de uma indústria de laticínio pela instalação de um agitador hidráulico e um injetor de ar na tubulação**. 2019.

CARMO, R. L.; VAZQUEZ, F. F.; CAMARGO, K. **Agronegócio e dinâmica populacional**: a soja e os frigoríficos em Mato Grosso. 2017.

CARVALHO, J. V. C. *et al.* **Desenvolvimento e aceitabilidade de cookies formulados a partir de bagaço de mandioca**. Umuarama, v. 21, p. 193-199. 2018.

CARVALHO, J. L. C.; GIAROLA, P. C. M. Um retrato da cadeia produtiva de carne avícola em Santa Catarina e no Brasil no início do século XXI. **Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação**, v. 2, p. 141-150. 2020

CARVALHAL, R.; BARBOSA, G. C.; MIYAZAWA, M. **Teor de nitrogênio no solo pela aplicação de dejetos de suínos e cama de aviário em Latossolo Vermelho eutroférico**. v. 9, n. 1. 2014.

CASTRO, P. G. S *et al.* **Quality of Pinus sp. pellets with kraft lignin and starch addition**. 2021.



CERQUEIRA, P. L. W.; AISSE, M. M. **Custos de processamento de lodo em Estações de Tratamento de Esgoto com reatores anaeróbios de manto de lodo e póstratamento aeróbio**: subsídios para Estudos de Concepção. Engenharia Sanitaria e Ambiental. 2021.

Clarke, S.; Preto, F. **Biomass Densification for Energy Production**. 2011.

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Resoluções 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>

CORDELLI, R. L.; MATTOS, P. P. **Determinação do poder calorífico de resíduo de Pinus sp. utilizado em camas de aviário**. In: Embrapa Florestas-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 2., 2003, Colombo. Anais. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 060A., 2003.

COSTA, I. G.; ASSAHARA, C. H. Descarte de Resíduos Agroindustriais como Atividade Potencialmente Poluidora: tutela ambiental e dano social. **Revista Húmus**, v. 10, 2020.

DALÓLIO, F. S. *et al.* **Cama de frango e resíduo moveleiro**: alternativa energética para a zona da mata mineira. 2017.

DALPASQUALE, V. A.; SILVA, J. S. **Secagem de grãos**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, MG, v. 9, p. 8-11, 1983.

DAMACENO, F. M. **Composting organic waste from the broiler production chain:: 41 a perspective for the circular economy**. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621038944>. Acesso em: 20 abr. 2022.

DAVID, A. C. **Secagem térmica de lodos de esgoto: determinação da umidade de equilíbrio**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DIAS, J. S. *et al.* **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. 2012.

DIN EN 14961-2: **Solid biofuels** - Fuel specifications and classes - Part 2: Wood pellet's for non-industrial use. Alemanha. 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2022.

EVARISTO, K. S.; FIGUEIREDO, R. S. **Custo do vapor em agroindústria**. 2008.

FAGNANI, K. C. **Comparação do potencial energético do lodo gerado no tratamento físico-químico de efluentes provenientes do abate de aves utilizando diferentes coagulantes**. 2017.

FERREIRA, W. P. M. **Avaliação de uma fornalha a carvão vegetal para aquecimento de aviário.** 2004.

FIORDA, F. A. *et al.* **Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca.** 2013.

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. Statistics Division Forestry Production and Trade. Roma: FAO, [2019]. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>. Acesso em: 01 ago. 2022.

GADELHA, A. M. T. *et al.* Biomassas com potencial energético para briquetagem: comparativo na densidade. **Revista da Madeira**, v. 24, n. 135, p. 14-16, 2013.

GARCÍA, R. *et al.* **Pelletization of wood and alternative residual biomass blends for producing industrial quality pellets.** 2019.

GODOY, L. C. **A logística na destinação do lodo de esgoto.** 2013.

GRANDO, A. **Technical feasibility of briquette production from poultry litter.** Applied Research & Agrotechnology, v. 13, p. 6289-1-8), 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . NBR ISO 17225-6. 2021

JASKO, A. C. *et al.* **Caracterização físico-química de bagaço de mandioca in natura e após tratamento hidrolítico.** 2011.

ISO17225-6. 2014. "Part 6: Graded non-woody pellets." In solid biofuels—fuel specifications and classes

LIMA, T. L.; BUSS, M. V.; BOLZON, A. **Gerenciamento de lodo industrial de uma estação de tratamento de efluentes, em uma agroindústria de processamento de carnes.** 2014

MANTOVAN, F. M. **Estudo da queima de lodo flotado de estação de tratamento de efluentes em caldeira a biomassa.** 2022.

MENEZES, N. T. **Produção de compósitos poliméricos a partir dos resíduos do processamento de mandioca.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná

MOURA, G. A. M. N. *et al.* **Avaliação da produtividade de grãos e de biomassa em dois híbridos de milho submetidos à duas condições de adubação no município de Santarém-PA.** Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS), v. 7, p. 20-27, 2017.

NALEVAIKO, J. Z. *et al.* Utilização de subprodutos agroindustriais na produção de briquetes. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**. v. 15, p. 1-26. 2021.

NEITZKE, G. **Geração elétrica distribuída a partir da gaseificação de peletes de cama de aviário**. 2010.

NOBRE, C. P. **Estudos biológicos e ambientais do Brasil**.

PARRÉ, J. L. *et al.* **Desempenho do setor do setor agroindustrial da região do do Brasil**. 2002.

PEREIRA, M. E. **Resíduos de cama de frango para fabricação de biochar**. 2019.

PEREIRA, M. S. L. *et al.* **Viabilidade econômica da implantação de uma peletizadora em uma usina de médio porte**. 2019.

PEREIRA, T. V.; SEYE, O. **Caracterização física termina de biomassa local**. 2014.

PRA, M. A. D. *et al.* **Uso de cal virgem para o controle de Salmonella spp. e Clostridium spp. em camas de aviário**. Ciência Rural, v. 39, p. 1189-1194, 2009.

REZVANI, Z., *et al.* **Natural energy of briquette, definitions, benefits and technologies**. 2014.

RODRIGUES, A. C. *et al.* **Técnica de compostagem aplicada a lodo flotado de um abatedouro de frangos**. Enciclopédia biosfera, Goiânia, v. 13, p. 980-990, dez. 2016

RODRIGUES, B. V. C. **Produção de pellets utilizando lodo primário gerado na indústria de celulose kraft**. 2021.

SARTOR, A. B. **Utilização do amido de mandioca na flotação da fluorita**. 2021.

SCHROEDER, B. **Aplicação de modelagem no processo de fabricação de rações para parametrização de peletizadora industrial**. 2018.

SILVA, D. M. **Dano ambiental e sua reparação**. 3ed. Curitiba: Jaruá, 2010.

SILVA, P.T.; RESCH, S. **Resíduos da mandioca**: um estudo sobre a destinação da massa de mandioca pelas fecularias brasileiras. Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN), v. 2, 2018.

SIQUEIRA, H. F. **Efeitos de aditivos na qualidade de pellets para uso energético**. 2017

SPIGOLON, R. *et al.* **Caracterização do consumo de água em abatedouros de aves e tilápia**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 9, n. 2, 2017.

SOUZA, F. C. **Peletização de rejeitos finos de carvão mineral e lodo de esgoto sanitário para uso energético** . Engenharia Química, 2021.

STEFFLER, V. **Produção de briquetes a partir de coprodutos agroindustriais: bagaço de cana de açúcar, cama de aviário e resíduo de aminodaria.**

TOMBINI, J.; LANDO, L.; SILVA, T. **Aproveitamento energético dos resíduos provenientes da avicultura: cama de aviário.** Seminário de Iniciação Científica e Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2016.

TUMULURU J.S. *et al.* **A review of biomass densification systems to develop uniform feed stock commodities for bioenergy application.** Biofuels Bioproducts & Biorefining-Biofpr, Hoboken, v. 5, n. 6, p. 683-707, 2011.

VIGODERIS, R. B. **Sistemas de aquecimento de aviários e seus efeitos no conforto térmico ambiental, qualidade do ar e performance animal, em condições de inverno, na região sul do Brasil.** 2006.

WARAJANONT, S.; SOPONPONGPIPAT, N. Effect of particle size and moisture content on cassava root pellet fuel's qualities follow the acceptance of pellet fuel standard. **International Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 2, n. 2, p. 74-79, 2013.

ZENATTI, D. C. *et al.* **Quantificação de açúcares redutores em hidrolisado do bagaço da mandioca para uso na produção de metano.** Revista gestão e sustentabilidade ambiental. Florianópolis, n. esp, p.616-627, 2015.