



UNIVERSIDADE DE UBERABA

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E EXTENSÃO

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA
MESTRADO PROFISSIONAL**

FRANCISCO DE ASSIS DA SILVA JUNIOR

**AÇÃO DAS MICRO-ONDAS NO LODO ORGÂNICO DE ABATEDOUROS DE
AVES**

UBERABA-MG

2018



FRANCISCO DE ASSIS DA SILVA JUNIOR

**AÇÃO DAS MICRO-ONDAS NO LODO ORGÂNICO DE ABATEDOUROS DE
AVES**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Química do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

Orientador:

Prof. Dr. André Luís Teixeira Fernandes

Coorientadora:

Prof.^a Dra. Elizabeth Uber Bucek

UBERABA-MG

2018

Catálogo elaborado pelo Setor de Referência da Biblioteca Central UNIUBE

S38a Silva Junior, Francisco de Assis da.
Ação das micro-ondas no lodo orgânico de abatedouros de aves /
Francisco de Assis da Silva Junior. – Uberaba, 2018.
48 f.: il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Uberaba. Programa de
Mestrado em Engenharia Química, concentração: Desenvolvimento
de Processos Químicos Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. André Luís Teixeira Fernandes.

Coorientadora: Profa. Dra. Elizabeth Uber Bucek.

1. Compostos orgânicos. 2. Resíduos orgânicos como fertilizantes.
3. Lodo. I. Fernandes, André Luís Teixeira. II. Bucek, Elizabeth Uber. III.
Universidade de Uberaba. Programa de Mestrado em Engenharia
Química. IV. Título.

CDD 547

FRANCISCO DE ASSIS DA SILVA JUNIOR

AÇÃO DAS MICRO-ONDAS NO LODO ORGÂNICO DE ABATEDOUROS DE AVES

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química – Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais

Aprovado em: 27/02/2018

BANCA EXAMINADORA:



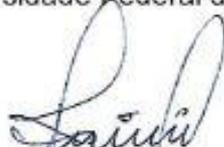
Prof. Dr. André Luís Teixeira Fernandes –
Orientador-Universidade de Uberaba



Profª Drª Elizabeth Uber Bucek – Coorientadora
Universidade de Uberaba



Prof. Drª Patrícia Diniz Martins
Universidade Federal do Triângulo Mineiro



Prof. Dr. David Maikel Fernandes
Universidade de Uberaba

*“Todo ser que respira louve ao SENHOR,
Aleluia!”*

Salmo 150.6

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, autor de toda ciência conhecida e desconhecida pelo homem.

Agradeço também a minha família por me apoiar neste trabalho

Um especial agradecimento ao Professor, Pesquisador e Empresário Ricardo Naufel de Toledo, através de seus conhecimentos e da parceria da Empresa ONDATEC-Tecnologia Industrial em Micro-ondas (Uberaba-MG), por contribuir de forma efetiva a viabilidade de desenvolvimento desta pesquisa.

Igualmente importante agradecemos ao prof. Dr. André Luís Teixeira Fernandes e a profa. Dra. Elizabeth Uber Bucek por todo acompanhamento, orientação, instrução e ensinamentos.

Por fim, agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG pelo importante apoio dado ao desenvolvimento dessa dissertação.

RESUMO

A necessidade de estudos em busca de melhores resultados na gestão dos resíduos de abatedouros, como o lodo de efluentes provenientes dos processos de produção de carnes de aves, tem se tornado importante, uma vez que o aumento da produção deste resíduo é um fato, pois a produção brasileira de aves continua crescendo em torno de 5% ao ano e atingirá no final de 2017 14 milhões de toneladas. É descrito na literatura a ação das micro-ondas visando a pirólise para produção de energia e inativação microbiana. O lodo de efluente tratado, pode gerar além da vantagem competitiva de mercado, a possibilidade de redução de custos de produção e ganhos ambientais. O objetivo do trabalho é tratar o lodo orgânico de efluentes de carnes de aves no forno micro-ondas em diferentes temperaturas e permanência sob a ação das micro-ondas, estimar o poder de fertilizante e avaliar a capacidade de inativação microbiana visando obtenção de novo produto. O lodo orgânico utilizado é originário de efluente de abatedouro de aves e passou por processamento de pirólise pelas micro-ondas em diferentes condições de tratamento. O equipamento usado foi o forno micro-ondas industrial escala piloto de cavidade rotativa em batelada, tecnologia ONDATEC®. Os resultados demonstram que a utilização dos compostos obtidos com a tecnologia de micro-ondas é viável como fertilizante, pois permitiu a obtenção de produtos com teores de macronutrientes acima de 11%, chegando a valores máximos de 12,5%, agregando valor ao resíduo. Houve redução e inativação bacteriana do lodo orgânico nos tratamentos realizados no forno micro-ondas em diferentes temperaturas: 220°C; 504°C; 525°C. Dos vários parâmetros testados obteve-se o protocolo de processamento do lodo orgânico de abatedouro de aves em forno micro-ondas, cavidade rotativa ONDATEC®. O cálculo do balanço de massas demonstra uma % de gases não condensáveis em torno de 29 a 39% e uma perda de massa do lodo orgânico após tratamento de 18 a 38%. A análise de fertilidade do lodo orgânico tratado mostra que o NPK foi de 5,56 a 7,32%, os macronutrientes secundários foi de 4,92 a 5,95%, relação C:N abaixo de 12 %, e carbono orgânico é superior a 20% em todos os tratamentos realizados. A ação micro-ondas é capaz de eliminar a totalidade de microrganismos presentes no lodo orgânico. Conclui-se que o lodo orgânico tratado por micro-ondas atende às exigências da legislação brasileira, podendo ser usado como fertilizante. Este processo é capaz de inativar os microrganismos presente no lodo e foi possível a elaboração do protocolo de processamento proposto neste estudo.

Palavras chave: radiação não ionizante; composto orgânico; lodo orgânico

ABSTRACT

The need for studies in search of better results in the management of waste from slaughterhouses, such as sludge from effluent from the poultry meat production processes, has become important, since the increase in the production of this waste is a fact, since the Brazilian poultry production continues to grow at around 5% per year and will reach 14 million tons by the end of 2017. It is described in the literature the action of microwaves aimed at pyrolysis for energy production and microbial inactivation. Effluent sludge from the potential for savings that can generate besides the competitive advantage of the market, generates the possibility of reduction of costs of production and environmental gains. The objective of the work is to process the organic sludge of poultry effluents in the microwave oven at different temperatures and stay under the action of the microwaves, to estimate the power of fertilizer and to evaluate the capacity of microbial inactivation in order to obtain a new product. The organic sludge used was from poultry slaughterhouse effluent and underwent pyrolysis processing by microwaves under different treatment conditions. The equipment used was the batch-oven pilot-scale industrial microwave oven, ONDATEC® technology. The results demonstrate that the use of the compounds obtained with the microwave technology is feasible as fertilizer, since it allowed to obtain products with macronutrient levels above 11%, reaching maximum values of 12.5%, adding value to the residue. All treatments of the sludge at different temperatures reached and in different times of stay in the microwave oven, bacterial reduction or inactivation was evident. From the various parameters tested, the protocol for processing organic sludge from poultry slaughterers into a microwave oven, ONDATEC® rotary cavity was obtained. The calculation of the mass balance shows a percentage of non-condensable gases around 29 to 39% and a loss of mass of the organic sludge after treatment of 18 to 38%. Fertility analysis of the treated organic sludge shows that the NPK was 5.56 to 7.32%, the secondary macronutrients were from 4.92 to 5.95%, C: N ratio below 12%, and organic carbon was greater than 20% in all treatments performed. The microwave action is capable of eliminating all the microorganisms present in the organic sludge. It is concluded that the organic sludge treated by microwave meets the requirements of the Brazilian legislation, can be used as fertilizer, the process is able to inactivate the microorganisms present in the sludge and it was possible to elaborate the processing protocol proposed in this study.

Keywords: non-ionizing radiation; organic compost; effluent sludge.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Caracterização e classificação de resíduos sólidos	4
Figura 2.2 – Espectro eletromagnético	8
Figura 2.3 – Forma de aquecimento convencional e pelas micro-ondas	9
Figura 3.1 – Forno micro-ondas ONDATEC®: estrutura do forno (A); cavidade sextavada com cesto giratório (B)	10
Figura 3.2 – <i>Layout</i> esquemático do aparato de amostragem de gases: C1 e C2 - recolhimento dos GC; F1 e F2 – recolhimento dos GNC	11
Figura 3.3 – Limpeza do micro-ondas, através do aquecimento (A) seguido de raspagem e eliminação de impurezas (B)	11
Figura 3.4 – Preparação do cesto da cavidade rotativa – Forno Micro-ondas ONDATEC®	12
Figura 3.5 – Tela de fibra de vidro resistente a temperatura 600°C (A): revestimento do cesto com fibra de vidro (B)	12
Figura 3.6 – Detalhe do cesto revestido pela tela e papel resistente a 600°C	13
Figura 3.7 – Lodo orgânico não tratado, recebido do abatedouro	13
Figura 3.8 – Coleta de gases não condensáveis (GNC)	14
Figura 3.9 – Recipiente de vidro tipo A (âmbar) e lacre com parafina usado na coleta de gases não condensáveis (GNC)	14
Figura 3.10 – Preparação das amostras de lodo orgânico tratadas previamente e processadas pelas micro-ondas	16
Figura 3.11 – Etapa de moagem (A), seguido de peneiramento (B)	16
Figura 3.12 – Coleta fora do forno, do lodo tratado pelas micro-ondas, para análise microbiana	18
Figura 3.13 – Esquema das correntes usadas no balanço de massa sem reação do processo de pirólise do lodo orgânico pelas micro-ondas	19
Figura 4.1 – Lodo de efluente: seco em torrões (A); pastoso firme (B), pastoso mole (C)..	21
Figura 4.2 – Secagem a céu aberto (A) do lodo orgânico não tratado e entre placas de metal (B)	22
Figura 4.3 – Gases não condensados (GNC) emitidos pela da chaminé do Forno Micro-ondas ONDATEC®, durante a pirólise do lodo orgânico	25

Figura 4.4 – Monitoramento da temperatura nos processos de tratamento do lodo orgânico em forno micro-ondas ONDATEC®	26
Figura 4.5 – Gráfico da temperatura de aquecimento do forno micro-ondas ONDATEC®, em função do tempo, na pirólise do lodo orgânico	26
Figura 4.6 – Esquema do balanço de massa sem reação do lodo de esgoto tratado pelas micro-ondas, ensaio T220-L2	28
Figura 4.7 – Esquema do balanço de massa sem reação do lodo de esgoto tratado pelas micro-ondas, ensaio T310-L3	29
Figura 4.8 – Esquema do balanço de massa sem reação do lodo de esgoto tratado pelas micro-ondas, ensaio T401-L4	29
Figura 4.9 – Esquema do balanço de massa sem reação do lodo de esgoto tratado pelas micro-ondas, ensaio T504-L5	30
Figura 4.10 – Esquema do balanço de massa sem reação do lodo de esgoto tratado pelas micro-ondas, ensaio T525-L5	31
Figura 4.11 – Lodo orgânico tratado pelas micro-ondas. Tratamento a 401,5°C / T401,5-L4 (A) e a 310°C /T310-L3 (B)	31
Figura 4.12 – Relação C:N para os diferentes tratamentos, com desvio padrão	35
Figura 4.13 – Carbono orgânico para os diferentes tratamentos, com desvio padrão	35
Figura 4.14 – Ausência de carga microbiana (UFC/g) no lodo orgânico tratado pelas micro-ondas, até 220°C (Ensaio T220-L2, n1)	37
Figura 4.15 – Carga microbiana (UFC/g) no lodo orgânico tratado pelas micro-ondas, até 504°C (Ensaio T504-L4, n1 e n2)	38
Figura 4.16 – Carga microbiana (UFC/g) no lodo orgânico tratado pelas micro-ondas, até 525°C (Ensaio T525-L5, n1 e n2)	39
Figura 4.17 – Fluxograma elaborado do processamento do lodo pelas micro-ondas esquematizando o protocolo de processamento do lodo orgânico em forno micro-ondas de cavidade rotativa, desenvolvido neste trabalho	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Classificação da pirólise em relação ao tempo de diferentes processos	9
Tabela 3.1 - Normas do MAPA utilizadas nas análises do teor de fertilizante	17
Tabela 4.1 - Monitoramento dos níveis de corrente de magnetrons do forno micro-ondas ONDATEC [®] , no experimento de pirólise do lodo orgânico	24
Tabela 4.2 - Teores de macro e micronutriente (em %) quantificados no lodo de efluente de abatedouro de granja por secagem convencional (tratamento 1) e tratado pelas micro-ondas (tratamentos de 2 a 5)	33
Tabela 4.3 - Análise da carga microbiana do lodo orgânico, após tratamento prévio céu aberto entre placas de metal	36
Tabela 4.4 - Análise da carga microbiana do lodo orgânico após tratamento em forno micro-ondas ONDATEC de cavidade rotativa	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
B	bombona
BHI	<i>Brain Health Infusion Broth</i>
BOD	Incubadora <i>Biochemical Oxygen Demand</i>
b.s.	base seca
CH ₄	metano
CO	monóxido de carbono
CO ₂	dióxido de carbono
CFSEMG	Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais
C:N	carbono:nitrogênio
CTC:C	relação capacidade de troca catiônica e carbono
GC	gás condensado
GNC	gás não condensados
H ₂	hidrogênio
H ₂ O	água
ha-	hectare
Hz	hertz
K ₂ O	óxido de potássio
Kcal	kilocalorias
Kg	quilograma
Kw	kilowatt
L	litros
m	metros
m ³	metro cúbico
MA	massa da carga de lodo orgânico previamente tratado (Kg)
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MB	massa da água (Kg) – aquecimento até 100° C
MC	massa do GC (Kg) – aquecimento acima de 100° C
MD	massa do GNC (Kg)
ME	massa do MA após etapa de pirólise (Kg)
MG	Minas Gerais
Mj	megajoule
N ₂	nitrogênio

NBR	Norma Brasileira aprovada pela ABNT
NK	nitrogênio - potássio
NP	nitrogênio - fosforo
NPK	nitrogênio - fosforo - potássio
O ₂	oxigênio
ONDATEC	Empresa Tecnologia Industrial em Micro-ondas
P ₂ O ₅	pentóxido de fósforo
PC	pós carbonização
PCI	poder calorífico inferior
PEAD	polietileno de alta densidade e alto peso molecular
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PK	fosforo - potássio
RAFA	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
RSS	resíduos de serviços de saúde
T	tratamento pelas micro-ondas
T1	Tratamento 1
T2	Tratamento 2
T3	Tratamento 3
T4	Tratamento 4
T5	Tratamento 5
T220	tratamento micro-ondas até 220°C
T310	tratamento micro-ondas até 310°C
T401	tratamento micro-ondas até 401,5°C
T504	tratamento micro-ondas até 504°C
T525	tratamento micro-ondas até 525°C
TP	tratamento prévio
TP-L	lote de lodo orgânico submetido a tratamento prévio
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
UFC/g	Unidade Formadora de Colônias por grama
v/v	volume/volume

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 – DADOS DA LITERATURA	3
2.1 – Lodos orgânicos gerados no Brasil.....	3
2.2 - Classificação do lodo na legislação.....	4
2.3 – Processamentos do lodo orgânico e suas aplicações	5
2.4 – Ação das micro-ondas na inativação microbiana	6
2.5 – Pirolise de biomassa assistida pelas micro-ondas.....	7
CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 – Forno micro-ondas de cavidade rotativa	10
3.2 – Obtenção do lodo orgânico.....	13
3.3 – Parâmetros testados no tratamento do lodo orgânico em forno micro-ondas	14
3.4 - Análise de fertilizante.....	15
3.5 - Análise da carga microbiana	18
3.6 - Balanço de massa	19
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 – Características e tratamento prévio do lodo orgânico	21
4.2 - Tratamento do lodo orgânico pelas micro-ondas para obtenção de composto Orgânico.....	23
4.3 - Inativação microbiana do lodo orgânico pelas micro-ondas.....	36
4.4 – Determinação das condições ideais de pirólise do lodo orgânico em forno micro-ondas de cavidade rotativa.....	40
CONCLUSÃO	42
PERSPECTIVAS FUTURAS	43
REFERÊNCIAS	44
ANEXOS	48

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A geração de efluentes industriais e agrícolas, leva a humanidade a problemas ambientais e de difícil recuperação, estocagem e tratamento, os quais ameaçam a segurança, comprometendo a relação do espaço físico disponível e do futuro do planeta. Por outro lado, a crescente necessidade de reduzir custos de produção, aliado a um aumento da consciência ambiental e as pressões ambientalistas, tem favorecido a busca e a efetiva utilização de novas tecnologias de tratamento de efluentes, que contemplem o desenvolvimento sustentado (Berni e Bajay, 2003).

A destinação de resíduos e efluentes para reciclagem e obtenção de produtos ou subprodutos de interesse econômico vem sendo um desafio gerando pesquisas que venha contribuir com esta meta, diminuindo a poluição e agregando valor aos resíduos, efluentes e seus subprodutos, assim como, transformar os resíduos e efluentes em energia tem sido uma meta para a ciência (Borges *et al.*, 2008).

A maioria dos países tem considerado a gestão ambiental de resíduos sólidos oriundos de processos industriais, tais como, os de tratamento de efluentes e sanitários, com grande relevância, sendo que em algumas regiões, esse fenômeno se apresenta de uma maneira mais enfática, devido à variedade de parque industriais, numerosos tipos de resíduos e o aumento do progresso demográfico (Sena, 2005).

A energia consumida atualmente, leva ao questionamento da fonte geradora: se a fonte é renovável ou não renovável. A tendência é a busca de fontes renováveis, pois, a evolução do consumo de energia no mundo, baseada em combustíveis fósseis (fonte não renovável), tornou-se uma matriz energética cara, e apresenta aspecto negativo em relação ao impacto ambiental, e o uso continuado combustíveis fósseis como fonte de energia, traz efeitos deletérios para o meio ambiente além de ser considerada uma fonte onerosa (Brito, 2007).

Entre 2007 a 2008, o uso de fontes não renováveis para gerar energia foi em torno de 82% no mundo e 7,5% no Brasil, enquanto, a energia de fontes renováveis foi de apenas 18% no mundo e de 92,5% no Brasil, sendo que a biomassa representa 3,7% das fontes renováveis brasileira (Meenakshi, 2008; EPE, 2008; Rosa *et al.*, 2013). Em 2017, no Brasil, 42,9% da energia foi proveniente de fonte renovável (17% biomassa de cana e 8% carvão vegetal) e 57,1 de fonte não renovável (EPE, 2018).

Para utilizar os resíduos orgânicos como fertilizantes na agricultura (Passianoto *et al.*, 2001; Brasil, 2004), estes devem atender as normas da legislação brasileira quanto aos teores de carbono orgânico total, nitrogênio total, pH próximo a neutralidade, umidade compatível com o cultivo de vegetais, ou seja, concentração de macro e micronutrientes compatíveis com a necessidades do vegetal a ser cultivado, como exemplo (Chiba *et al.*, 2014) o fosforo, nutriente necessário para o desenvolvimento da cana-de-açúcar, onde o lodo de esgoto é capaz de disponibilizar 30% do P requerido pela cana-de-açúcar. Para cada tipo de lodo orgânico e o processamento usado, deve-se gerar produtos que atendam às necessidades do cultivo a qual será designado, com contribuição do trabalho aqui apresentado.

A ação das micro-ondas em resíduos, buscando a inativação microbiana é descrita na literatura, como sendo uma tecnologia eficaz, onde os parâmetros do processo variam para o tipo de resíduo a ser processado, e o tipo de microrganismo que se deseja inativar. Os estudos baseiam-se em microrganismos patogênicos ao homem. Os lodos orgânicos quando descartados na natureza podem promover danos ambientais e sanitários frente a contaminação microbiana, em função da carga depositada no solo, o que justifica o estudo de inativação microbiana do lodo orgânico pelas micro-ondas (Diaz *et al.*, 2005; Bucek *et al.*, 2016).

Nesse cenário, o objetivo desta dissertação é avaliar os parâmetros do forno micro-ondas de cavidade rotativa de Tecnologia ONDATEC[®] visando a definição de um protocolo de processamento que seja capaz de tratar o lodo orgânico de efluentes de carnes de aves e gerar produto que possa ser utilizado como fertilizante. Para isto foi: avaliado diferentes condições de temperatura e tempo de permanência sob a ação das micro-ondas; avaliado a capacidade de inativação microbiana nos processos testados; estimado o potencial de fertilizante do lodo tratado em diferentes condições; e, elaborado um protocolo de processamento do lodo orgânico no equipamento proposto para produção de fertilizante.

O potencial contaminante do lodo orgânico de efluentes de abatedouro de aves impede seu aproveitamento como fertilizante, assim, a inativação microbiológica modifica a classificação de resíduo para a de fertilizante orgânico. Ou seja, de passivo ambiental para um ativo da empresa: um novo produto. Dessa forma, este estudo se justifica, pois apresenta uma solução para agregar valor econômico ao resíduo, bem como contribui para a sustentabilidade e preservação do meio ambiente e sanitário.

CAPÍTULO 2 – DADOS DA LITERATURA

Neste capítulo iremos tratar temas descritos na literatura relacionado ao tema proposto de estudo, sendo eles: lodos orgânicos gerados no Brasil; classificação do lodo na legislação; processamentos do lodo orgânico e suas aplicações; ação das micro-ondas na inativação microbiana; e pirolise de biomassa assistida pelas micro-ondas.

2.1 – LODOS ORGÂNICOS GERADOS NO BRASIL

A definição de resíduos sólidos proveniente do *Dictionary of Water and Waste Management* (Smith e Scott, 2005) considera os seguintes resíduos: comerciais; de construção e demolição; domésticos; de jardinagem; industriais; dentre outros. Esta definição exclui alguns resíduos como os perigosos e os radioativos e os lodos orgânicos normalmente são provenientes de efluentes e esgoto doméstico.

Verifica-se que a definição anterior não está em concordância com os parâmetros atuais que ressaltam o valor econômico dos resíduos, conforme desta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (Brasil, 2010), regulamentada pelo decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil e define resíduos sólidos como: “material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (Brasil, 2010).

Verifica-se que após a implantação, seguida de sua implementação, a Política Nacional de Resíduos Sólidos em 2010, houve um aumento considerável de artigos científicos publicados no Brasil, onde, os temas ligados a resíduos sólidos urbanos o aumento foi de 43,9% no período de 2010 a 2013. Esse resultado revela a importância em abordar a questão dos resíduos sólidos municipais, pois é onde se concentram os principais geradores e consumidores de resíduos: a população (Pichtel, 2005).

2.2 - CLASSIFICAÇÃO DO LODO NA LEGISLAÇÃO

A caracterização lodo de efluentes de abatedouros, segue a norma brasileira aprovada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), normativa NBR-10.004:2004 (Abnt, 2004), e possui a seguinte definição para resíduos sólidos (Figura 2.2), sendo: resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

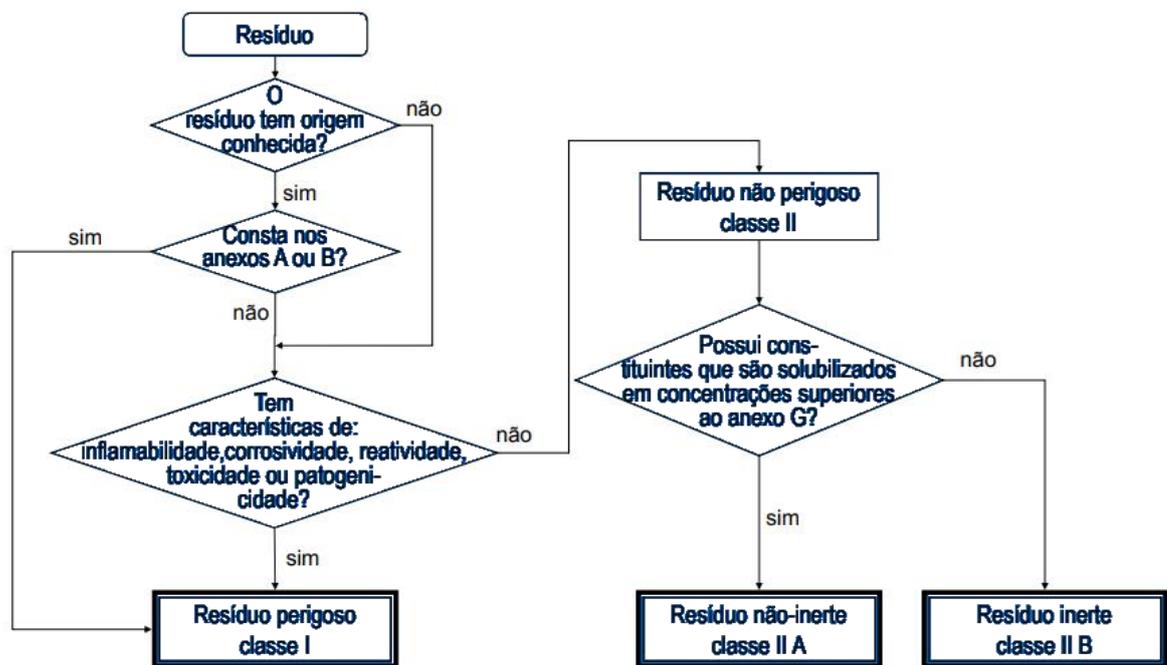


Figura 2.1 - Caracterização e classificação de resíduos sólidos
Fonte: NBR-10.004 (Abnt, 2004) – Resíduos sólidos - classificação

Outro ponto importante que a NBR-10.004:2004 cita (Abnt, 2004) é o aspecto da periculosidade de um resíduo (Figura 2.2), que é a característica apresentada em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, que podem apresentar:

- a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
- b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

De acordo com informações da empresa abatedouro de aves e análise das características do produto, o efluente de lodo do abatedouro de aves está classificado como classe IIA – resíduo não inerte.

2.3 – PROCESSAMENTOS DO LODO ORGÂNICO E SUAS APLICAÇÕES

Estudos tem sido realizado com lodos de diferentes efluentes industriais e de esgoto sanitário, em busca de diferentes aplicações e processamentos, por tecnologias diversas (Brasil, 2004). Lodos de efluentes ricos em materiais orgânicos, são de interesse como biomassa, para agricultura por ser uma fonte rica em carbono e em energia, intensificando a atividade biológica seguida de liberação de CO₂, como acontece com o lodo de unidades de curtume (Passianoto *et al.*, 2001).

A digestão anaeróbica de efluentes da indústria de papel, com reatores *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), visando a conversão da matéria orgânica em metano, processou 3600 m³ de efluentes para uma produção de 150 toneladas de papel e, uma geração de gás metano cujo equivalente em óleo combustível é de 650 kg (Berni e Bajay, 2003).

O tratamento por flotação do lodo de efluentes de frigorífico para geração de energia, mostrou ser uma alternativa eficiente, gerando combustível de elevado poder calorífico, possibilitando a obtenção de 0,87 kg de biomassa combustível (peso em base seca (b.s.)) para cada m³ de efluente tratado, e tornando este resíduo em uma fonte de energia renovável e menos poluente (Sena, 2005).

Ribeiro (2002) descreve que o lodo frigorífico de origem orgânica é uma biomassa de alto poder calorífico, podendo ser utilizado como fonte energética, evitando assim, custos com disposição final e impactos ambientais. Temos por definição de acordo com a literatura que o poder calorífico de um combustível é definido como a quantidade de calor liberada pela combustão completa do combustível, por unidade de massa (kcal/kg) ou de volume (kcal/m³) nas condições normais de temperatura e pressão (CNTTP). Kumar e colaboradores (2002) definem biomassa como uma matéria orgânica de origem animal ou vegetal, que se mostra como uma

opção de fonte de energia, que se utiliza de energia solar de forma indireta, através da fotossíntese.

Pesquisas com lodos de efluentes de esgoto sanitário, de indústria de papel e têxtil tem demonstrado alto poder calorífico (cerca de 19 MJ/kg), com capacidade para liberação de energia (Borges *et al.*, 2008), próxima a de outras biomassas já empregadas como combustível na geração de energia: bagaço de cana-de-açúcar (Botão e Lacava, 2003); lodo orgânico obtido de águas residuais da indústria da carne (De Sena *et al.*, 2008).

2.4 – AÇÃO DAS MICRO-ONDAS NA INATIVAÇÃO MICROBIANA

É sabido que o depósito de compostos orgânicos e organometálicos gerados por ação humana, como o lodo de curtume, são fontes de contaminação do solo, através do aumento da carga microbiana que pode chegar a concentrações capazes de provocar danos ambientais com impactos na vegetação e nos organismos do solo (Passianoto *et al.*, 2001). Assim é necessário o monitoramento da quantidade de depósito no solo dos resíduos de lodos ricos em matérias orgânicas como os lodos de abatedouros de animais e de indústrias que processam estes produtos.

Outro aspecto referente à contaminação por microrganismos refere-se à patogenicidade ao homem. As bactérias *Pseudomonas aeruginosa*, consideradas oportunistas, quando infecta o ser humano debilitado, normalmente leva o indivíduo à morte de infecções urinárias, endocardites, pneumonias, meningites (Lincopan e Trablusi, 2004). Quando presentes em colônia, são altamente resistentes à variação de temperatura de 4 a 42°C. Pisani Jr. e colaboradores (2008), inativaram a nível de 10^6 UFC/g (Unidade Formadora de Colônias/grama), colônias de *P. aeruginosa* em resíduos de serviços de saúde através do processamento em micro-ondas de escala laboratorial em batelada (forno caseiro). Nestas mesmas condições de tratamento, Oliveira (2010) descreve ação de inativação das micro-ondas de *Bacillus atrophaeus* na forma esporulada. Para inativação *E. coli*, *Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa*, através desta metodologia pode ser efetiva, se as condições operacionais forem bem estabelecidas (Tonuci, 2006).

Em escala piloto, o forno micro-ondas de cavidade rotativa (Bucek *et al.*, 2016) é capaz de inativar a totalidade dos microrganismos inerentes dos RSS ao nível $< 10^6$ UFC/g, podendo zerar, em função da carga microbiana encontrada nos Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) antes

processamento. Diaz e colaboradores (2005) reforçam que a ação das micro-ondas, como um método de tratamento, é capaz de eliminar os microrganismos dos RSS, tornando este resíduo apto a sua disposição no solo (local de despejo, aterros controlados, poços e aterros sanitários).

Bucek e colaboradores (2016) concluem que a eficiência do processo de tratamento de inativação microbiana em materiais contaminados com microrganismos no forno micro-ondas, está relacionada à temperatura final de aquecimento e radiação das micro-ondas e não ao tempo de exposição ao tratamento. Os danos ao ambiente e ao homem pela contaminação microbiana dos lodos orgânicos quando descartados na natureza, justificam a verificação da inativação microbiana que os processos de tratamento aplicados podem promover, relacionando benefícios ambientais e sanitários.

2.5 – PIRÓLISE DE BIOMASSA ASSISTIDA PELAS MICRO-ONDAS

Na pirólise, o aquecimento pelas micro-ondas apresenta uma melhora na distribuição da temperatura, na taxa de aquecimento e no tempo de permanência dos voláteis no material em tratamento, em comparação com o processo convencional de pirólise, sendo este uma alternativa tecnológica interessante sobre os processos convencionais, sob o ponto de vista da velocidade de processamento, bem como da qualidade dos produtos obtidos (Fernández *et al.*, 2011).

Com a utilização de aquecimento por micro-ondas na pirólise, podemos obter algumas vantagens como: uma melhor distribuição de temperatura e velocidade de processamento, qualidade dos produtos obtidos e outros benefícios, mostrando-se como uma interessante opção tecnológica, se comparado com os processos convencionais de pirólise (Bridgwater, 2012). A pirólise envolve a decomposição termoquímica de hidrocarbonetos (ou materiais orgânicos) em elevadas temperaturas, sem presença de oxigênio, apresenta-se eficiente e diminui a geração de poluição para a produção de produtos intermediários reativos da biomassa, em comparação com outras técnicas que envolve combustão. De fato, existem muitos fatores que interfere no processo de pirólise, como composição da biomassa e as condições experimentais do processo (Bridgwater, 2012).

No Brasil, são descritos estudos sobre obtenção de carvão de madeira por pirólise utilizando tecnologia micro-ondas, com o reaproveitamento dos efluentes (Morais *et al.*, 2016), diminuindo a geração de resíduos no processo, contribuindo com a sustentabilidade e preservação do meio

ambiente. No espectro magnético, as micro-ondas agem na faixa de comprimento de onda de 1 a 10^{-2} m e frequência de 3×10^8 a 3×10^{11} Hz (Figura 2.2).

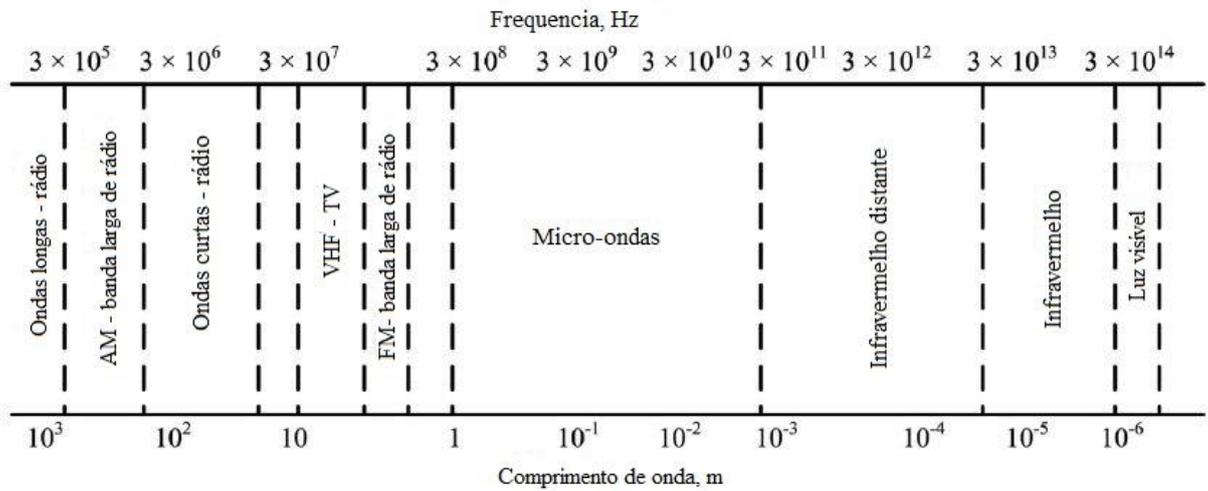


Figura 2.2 – Espectro eletromagnético
Fonte – (Motasemi e Afzal, 2013) adaptado.

O modo de transferência de energia para o aquecimento de um objeto acontece de forma diferente, ou seja, é uma conversão de energia ao invés de aquecimento por uma fonte de calor, como ocorre em um processo convencional (Kappe *et al.*, 2006; Kappe *et al.*, 2012). A forma de transmissão de energia no aquecimento com as micro-ondas pode alcançar o núcleo do material, estando a temperatura no centro mais alta do que ao redor da massa a ser aquecida, conforme ilustra a Figura 2.3.

Segundo Pereira e Pinho (2000), o uso de fornos de micro-ondas tem participado com parcelas cada vez maiores do mercado, como alternativa para a pirólise da madeira, apesar de que o processo é visto com restrição pelos empresários, que relutam em adotar a tecnologia, seja por receio de uma rejeição, quanto a radiação, dos seus produtos, ou pelo custo elevado de implantação do sistema.

A pirólise da madeira produz o produto carvão vegetal, e como resíduos: tiços, gases condensáveis (licor pirolenhoso e alcatrão vegetal) e gases não condensáveis (CO_2 , CO , CH_4 , H_2 , O_2 , N_2 e hidrocarbonetos) como efluentes, que podem ser utilizados para melhorar a eficiência térmica do processo de obtenção de carvão vegetal, a secagem da madeira, a cogeração e a diminuição das emissões de gases de efeito estufa (Braga, 2010). Os efluentes gerados no

processo de pirólise assistida por micro-ondas, a partir do carvoejamento da madeira de eucaliptos apresenta poder calorífico inferior (PCI) de 13,66 MJ/kg dos gases não condensáveis e de PCI de 15,76 MJ/kg dos gases condensáveis que é constituído de pirolenhoso e alcatrão (Morais *et al.*, 2016).

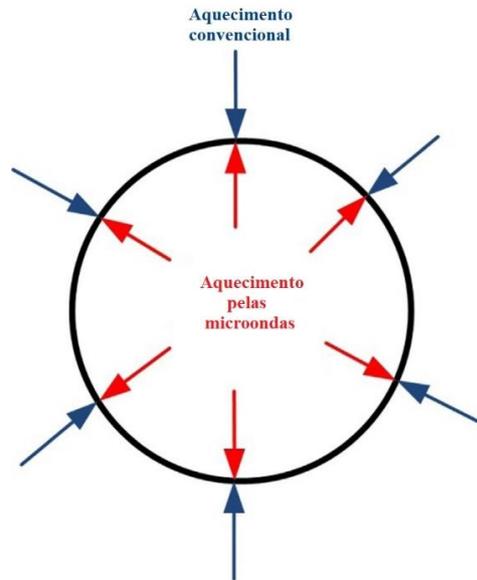


Figura 2.3 – Forma de aquecimento convencional e pelas micro-ondas.
Fonte - (Kappe *et al.*, 2006) adaptado.

Fatores relevantes em processo de pirólise são as condições de reação, tempo de residência e taxa de aquecimento que podem impactar no resultado deste processo. A literatura descreve 03 tipos processo de pirólise, sendo: a lenta, rápida e instantânea, de acordo com a Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Classificação da pirólise em relação ao tempo de diferentes processos.

Tecnologia de pirolise	Tempo de permanência (s)	Taxa de aquecimento (K/s)	Temperatura (°K)
Lento	450 - 550	0,1 – 1,0	550 - 950
Rápido	0,5 - 10	10 - 200	850 - 1250
Instantâneo	< 0,5	> 1000	1050 - 1300

Fonte – (Castells, 2005) adaptado.

CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – FORNO MICRO-ONDAS DE CAVIDADE ROTATIVA

O forno micro-ondas em escala piloto utilizado (Figura 3.1), foi construído com tecnologia nacional ONDATEC®, (ONDATEC S.A – Tecnologia Industrial em Micro-ondas, empresa situada em Uberaba no Triângulo Mineiro) apresenta as seguintes características: potência: 20 kW, tensão de alimentação: 220V 60 Hz, um reator de cavidade sextavada e rotativa de capacidade de 650 litros, rotação ajustável por inversor de frequência: 30 a 60 Hz, com 24 válvulas de magnetrons e controle manual de potência: acionamento individual de cada válvula de magnetron; sistema de separação e coletor de gases condensados (GC) e gases não condensados (GNC); sistema de armazenamento de bio-óleo; funcionamento em batelada. O Termopar utilizado no controle da temperatura foi da marca ALUTAL e o mesmo permaneceu no interior do resíduo durante o processamento.

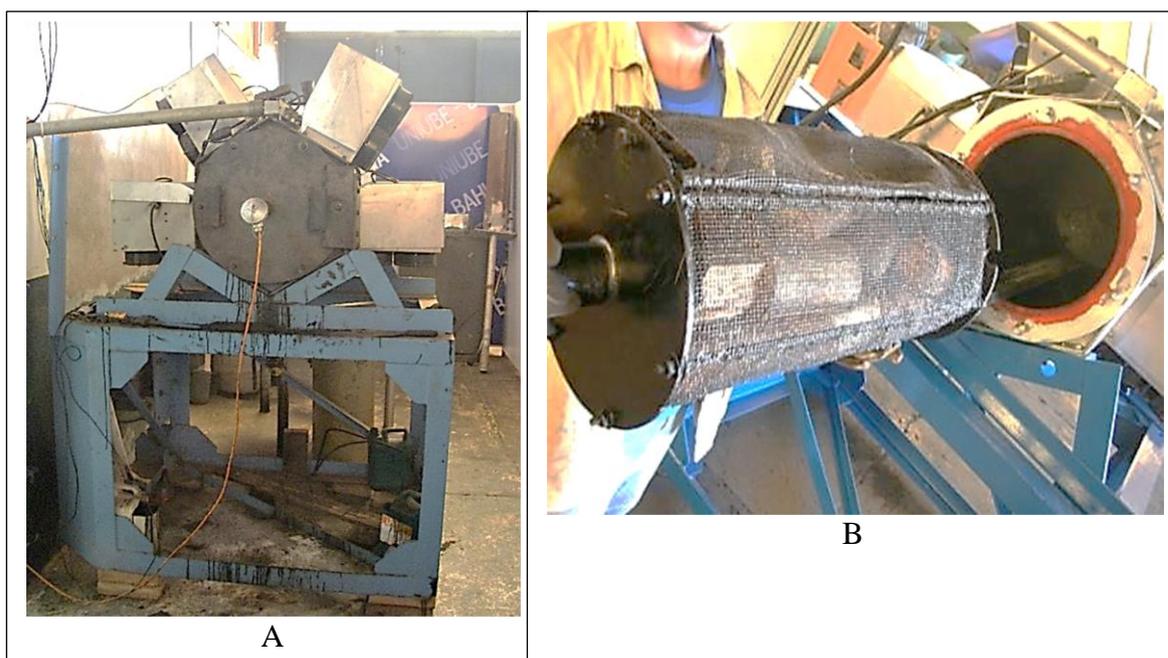


Figura 3.1–Forno micro-ondas ONDATEC®: estrutura do forno (A); cavidade sextavada com cesto giratório (B).

Fonte - Empresa ONDATEC Tecnologia Industrial em Micro-ondas SA.

A Figura 3.2 representa o esquema de coleta dos GC e GNC no processo de tratamento do lodo orgânico pelas micro-ondas, de acordo com a metodologia utilizada pela ONDATEC.

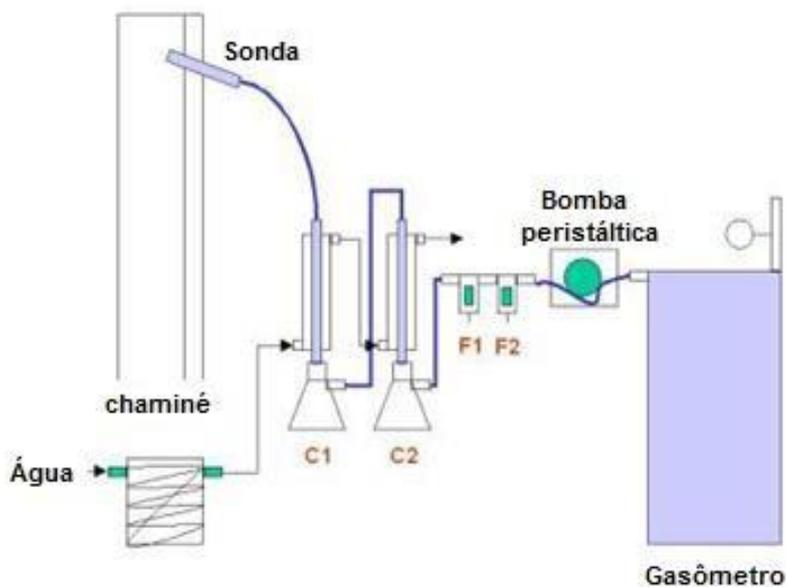


Figura 3.2 - *Layout* esquemático do aparato de amostragem de gases: C1 e C2 - recolhimento dos GC; F1 e F2 – recolhimento dos GNC.

Fonte - Empresa ONDATEC - Tecnologia Industrial em Micro-ondas SA.

O forno micro-ondas foi preparado de acordo com as características do lodo orgânico, para seu processamento. Primeiramente realizou a limpeza da cavidade sextavada (Figura 3.3).



Figura 3.3 - Limpeza do micro-ondas, através do aquecimento (A) seguido de raspagem e eliminação de impurezas (B).

Fonte: Autor (2018).

O preparo do cesto de acondicionamento do material a ser processado foi realizado através das etapas: 1. limpeza do cesto utilizando um alicate e espátula de metal para remover os resíduos da estrutura metálica, (Figura 3.4); 2. retirada da tela de fibra de vidro usada no experimento anterior (Figura 3.5); 3. revestimento do cesto de metal com uma nova tela de fibra de vidro, trançando a mesma com fio utilizado da própria fibra de vidro ao longo da estrutura, garantindo que toda a estrutura metálica esteja revestida e com possibilidade de abertura e fechamento da tampa de acesso (Figura 3.6).



Figura 3.4 - Preparação do cesto de cavidade rotativa – Forno Micro-ondas ONDATEC®.
Fonte: Autor (2018).



Figura 3.5 - Tela de fibra de vidro resistente a temperatura 600°C (A): revestimento do cesto com fibra de vidro (B).
Fonte: Autor (2018).



Figura 3.6 - Detalhe do cesto revestido pela tela e papel resistente a 600° C.
Fonte: Autor (2018).

3.2 – OBTENÇÃO DO LODO ORGÂNICO

A disponibilidade do lodo orgânico para teste foi localizada em abatedouro de aves no Triângulo Mineiro. O lodo orgânico recebido consiste no resíduo depositado no fundo da lagoa de decantação do efluente, acondicionados em bombonas de 50 L de polietileno de alta densidade e alto peso molecular (PEAD), denominadas de lotes (Figura 3.7) que receberam as codificações: B1; B2; B3; B4; B5; B6; B7; B8; B9; B10. O lodo recebido do abatedouro foi denominado de lodo orgânico não tratado.



Figura 3.7 – Lotes de lodo orgânico não tratado, recebido do abatedouro.
Fonte: Autor (2018).

3.3 – PARÂMETROS TESTADOS NO TRATAMENTO DO LODO ORGÂNICO EM FORNO MICRO-ONDAS

Para definição das condições ideais do processamento do lodo orgânico no Forno Micro-ondas ONDATEC® foram testados os seguintes parâmetros em diferentes tempos e condições, para análise e definição das condições ideais: tempo de campanha de amostragem de gases; coleta da fração de vapores pirolenhos condensáveis, que foram obtidos pela ação dos condensadores (emergidos em água contida no tanque) e armazenados nos erlenmeyers do aparato de amostragem (Figura 3.8). Durante a etapa de coleta dos gases, os mesmos foram devidamente acondicionados em recipiente de vidro, mantidos a uma baixa temperatura, utilizando-se gelo, de acordo com a Figura 3.9.



Figura 3.8 - Coleta de gases não condensáveis (GNC).
Fonte: Autor (2018).



Figura 3.9 -Recipiente de vidro tipo A (âmbar) e lacre com parafina usado na coleta de gases não condensáveis (GNC).
Fonte: Autor (2018).

A fração do gás não condensável (GNC) foi coletada e armazenada a +5°C em frascos de vidro âmbar e a fração condensável foi coletada e armazenada a temperatura ambiente em frascos de vidro âmbar, para o cálculo do balanço de massa. O teor de água e de gases condensáveis (GC) produzidos durante o processamento do lodo foram estimados, tomando-se como base o balanço de massa da etapa de pirólise.

Outros parâmetros analisados foram potências, sendo a máxima de 20 kW; volume de material a ser tratado (em torno de 300 litros); rotação da cavidade e do cesto que o material é inserido para tratamento; temperatura do forno e tempo de permanência x temperatura de processamento.

Após processamento do lodo orgânico pelas micro-ondas foram realizados os cálculos de balanço de massa sem reação, considerando que, o que entrou foi igual ao que saiu, à partir dos fluxos de massa no sistema (entrada e saída) em peso (Kg).

3.4 - ANÁLISE DE FERTILIZANTE

A análise de fertilizante consiste nas etapas de preparação das amostras secas e processadas pelas micro-ondas, seguido de encaminhamento para análise laboratorial de fertilidade em laboratório credenciado.

3.4.1-Preparo da Amostra:

O processamento dos lotes para análise laboratorial constou de 04 fases (Figuras 3.10 e 3.11), sendo: 1) separação do material conforme os experimentos em lotes; 2) trituração e homogeneização das amostras, utilizando cutter, em capela de laboratório; 3) análise da granulometria das amostras trituradas à partir do peneiramento com peneiras Tyler 8 (2,360 mm), 10 (2,000 mm), 20 (0,850 mm) e 40 (0,425 mm); 4) pesagem, empacotamento, identificação e envio para análise laboratorial.



Figura 3.10 - Preparação das amostras de lodo orgânico tratadas previamente e processadas pelas micro-ondas.

Fonte: Autor (2018).

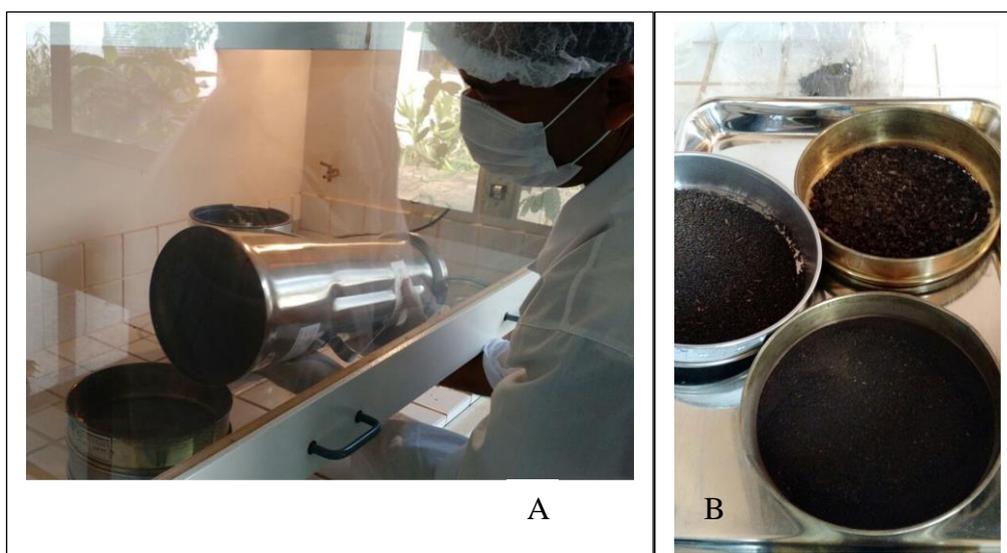


Figura 3.11 - Etapa de moagem em cutter (A), seguido de peneiramento (B).

Fonte: Autor (2018).

3.4.2-Quantificação de Nutrientes

A análise laboratorial de fertilizante foi realizada nos lotes de lodo orgânico tratados de granulometria menor que 0,850 mm e maior do que 0,425 mm. Foram determinadas o percentual de NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio) pela Empresa Labfert Análises, localizada em Uberaba-MG. A Labfert possui certificados de qualidade nos seguintes programas interlaboratoriais, sendo eles:

- ✓ **ANDA** (Associação Nacional para Difusão do Adubo), no setor de fertilizantes;
- ✓ **IAC** (Instituto Agrônômico de Campinas), no setor de solos;
- ✓ **ESALQ/USP** (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz), no setor de tecido foliar;
- ✓ Certificação ISO-9001: 2015- Sistema de Gestão da Qualidade (Anexo 01: Certificado ISO 9001:2015 – Empresa Labfert).

Na análise de fertilizante foi determinado o percentual de NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio), de acordo com os métodos descritos nas normas do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2014), como segue na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Normas do MAPA utilizadas nas análises do teor de fertilizante.

PARÂMETROS	MÉTODOS	METODOLOGIA
N Total	IN SDA 3 Cap III, E.1.1	macrométodo da liga de Raney
P ₂ O ₅ Total	IN SDA 3 Cap III, E.2	2.1 gravimétrico do Quimociac 2.2 espectrofotométrico do ácido molibdovanadofosfórico
K ₂ O Água	IN SDA 3 Cap III, E.6.2.2	fotometria de chama
Ca Total	IN SDA 3 Cap III, E.7.2.2	7.2.2.1a volumétrico do EDTA 7.2.2.1b espectrométrico por absorção atômica
Mg Total	IN SDA 3 Cap III, E. 7.2.2	7.2.2.2a volumétrico do EDTA 7.2.2.2b espectrométrico por absorção atômica
S Total	IN SDA 3 Cap III, E.8	Extração nítrico-clorídrica OU hidróxido de potássio e oxidação com peróxido de hidrogênio
Umidade Atual	IN SDA 17 Cap II	DAS 3 - Cap III D.1 umidade a 65°C (U65)
C Orgânico Total	IN SDA 3 Cap IV, D.16	volumétrico - dicromato de potássio
Relação C:N	IN SDA 3 Cap III, G	massa carbono orgânico/b.s. massa nitrogênio/b.s.

Fonte: MAPA (Brasil, 2014) adaptado pelo Laboratório Labfert.

3.5 - ANÁLISE DA CARGA MICROBIANA

Para cada ensaio, a análise microbiológica foi realizada em amostra de lodo antes do tratamento (grau de contaminação microbiológica inicial - branco positivo) e após tratamento pelas micro-ondas. Foram realizadas as coletas das amostras contidas dentro do cesto de contenção do material, ainda dentro da cavidade giratória no forno micro-ondas ou fora dela (Figura 3.12).



Figura 3.12 – Coleta fora do forno, do lodo tratado pelas micro-ondas, para análise microbiana.
Fonte: Autor (2018).

A análise microbiana (Silva *et al.*, 2010) das amostras se deu no mesmo dia da coleta, após serem encaminhadas ao laboratório cerca de 50 g de cada amostra, em elermyers estéreis, sob refrigeração (+4° C). Os ensaios foram realizados em capela de fluxo laminar e estufa incubadora BOD. Após incubar 1 g de amostra representativa em 9 ml de caldo *Brain Health Infusion Broth* (BHI) a 37° C por 24 horas, seguido de diluição em meio salina (10^{-1} a 10^{-10} v/v) até obtenção de colônias contáveis em placas com meio de cultura. As diluições foram plaqueadas pela técnica de semeadura em profundidade (*Pour Plate*) em Agar Nutriente (NA) e *Potato Dextrose Agar* (PDA) para quantificar bactérias e fungos. Posteriormente as placas foram incubadas a 37°C por 24 a 48 horas, seguida de contagem das colônias microbianas.

A verificação da efetividade do tratamento do resíduo foi determinada pela diferença das cargas microbianas obtidas por ensaio, após contagem das colônias em Unidades Formadoras de

Colônias, por grama de amostra (UFC/g). Os ensaios foram feitos com repetição, em duplicata (n=2) e quando necessário para confirmação do teste foi realizado em triplicata (n=3).

3.6 - BALANÇO DE MASSA

O Balanço de massa sem reação dos processos de pirólise foram realizados de acordo com o diagrama representado na Figura 3.13, onde: “A” é a massa da carga de lodo de alimentação (kg); “B” é a massa do líquido drenado (GC) na parte frontal do forno (kg); “C” é a massa do líquido drenado (GC) na parte de trás do forno (kg); “D” é a massa da carga de lodo após tratamento (kg); “E” é a massa estimada de gases (GNC) eliminada do forno ao longo do tratamento.

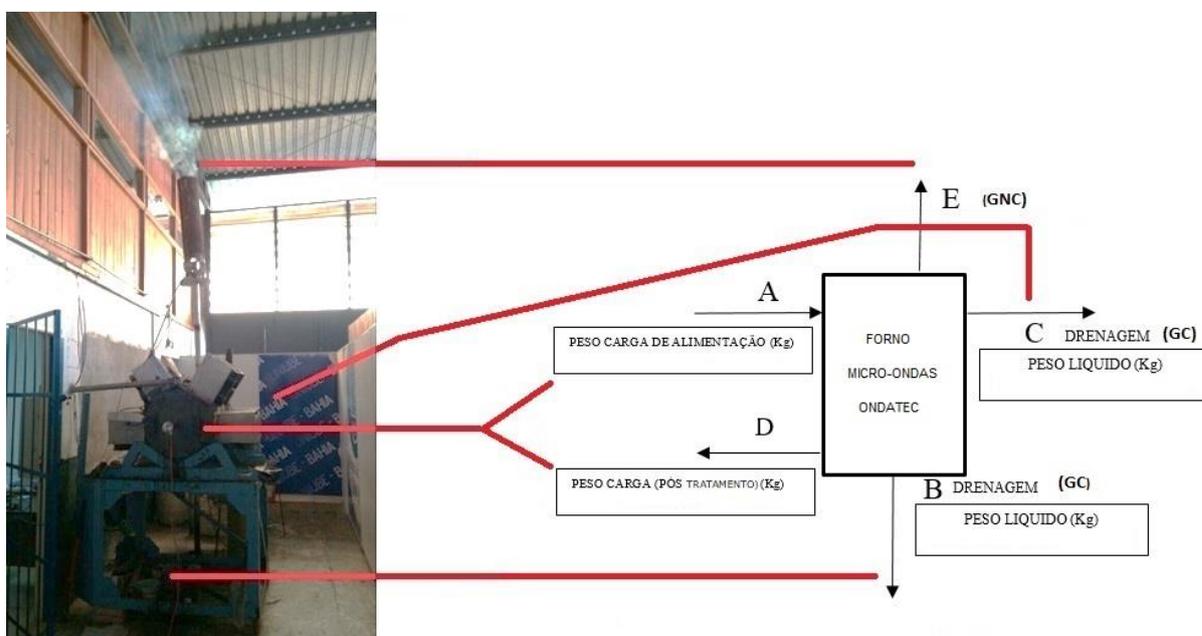


Figura 3.13 - Esquema das correntes usadas no balanço de massa sem reação do processo de pirólise do lodo orgânico em forno Micro-ondas Tecnologia ONDATEC.

Fonte: Autor (2018).

Partindo do princípio de que não houve reação química, podemos considerar que “o que entrou é igual ao que saiu” (entrada = saída), o cálculo do balanço de massa sem reação (balanço de material simples) foi realizado de acordo com a Equação (3.2), onde a quantidade de GNC será determinado por estimativa. As análises dos dados foram realizadas pelos programas Microsoft Office® Excel™ e Minitab 18.1.0.

$$TP-L = T + H_2O + GC + GNC$$

(3.2)

Onde: TP-L = lote de lodo orgânico submetido a tratamento prévio

T = Lodo tratado pelas micro-ondas até a temperatura máxima de aquecimento

H₂O = água

GC = gás condensável

GNC = gás não condensável

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão descritos os resultados obtidos da análise do lodo orgânico proveniente de abatedouro de aves, antes e após tratamento pelas micro-ondas.

4.1 – CARACTERÍSTICAS E TRATAMENTO PRÉVIO DO LODO ORGÂNICO

Os lotes de lodo orgânico recebidos do abatedouro, apresentaram diferentes aspectos quanto a consistência, impurezas e coloração.

A coloração variou de marrom acinzentado, marrom escuro. No lodo estava presente outras substâncias como: presença de palha, partes de tijolo, presença de galhos, pontos de terra e areia. A consistência variou em função da quantidade de umidade presente nos lodos, sendo: aparentemente seco e separados em torrões; pastoso firme, opaco e aceita moldagem; pastoso mole e brilhante (Figura 4.1).

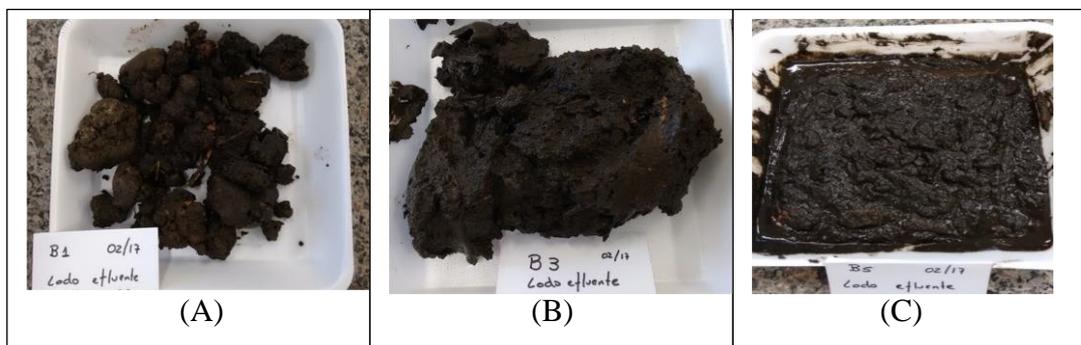


Figura 4.1 - Lodo de efluente: em torrões (A); pastoso firme (B), pastoso mole (C).
Fonte: Autor (2018).

Esta variação de aspecto quanto a consistência do lodo orgânico proveniente do abatedouro, se deve a variação do tempo de estocagem em bags, após retirada do fundo da lagoa de decantação. A característica mole do lodo orgânico, dificulta a sua contenção no cesto giratório do forno micro-ondas para processamento e isto justificou o tratamento prévio de secagem à céu aberto para homogeneizar o lodo quanto ao aspecto par torná-lo o mais firme e seco possível. Assim sendo, antes tratamento do lodo orgânico pelas micro-ondas, foi necessário

realizar a secagem prévia a céu aberto visando retirar ao máximo a umidade do produto antes de inseri-lo no forno micro-ondas para a secagem à 100°C, seguida de pirólise.

Os lotes de lodo orgânico recebidos do abatedouro foram homogeneizados e disposto à céu aberto sob sol sobre placas de metal (aço galvanizado) até a consistência firme (torrões). O revolvimento do material foi realizado 2 vezes por dia (manhã e tarde). Em caso de tempo nublado, sob chuva e à noite o lodo é colocado entre placas de metal, para garantir a perda do excesso de umidade (Figura 4.2).



Figura 4.2- Secagem a céu a aberto (A) do lodo orgânico não tratado e entre placas de metal (B).
Fonte: Autor (2018).

A secagem do lodo a céu aberto foi utilizada a fim de eliminar o máximo de umidade presente neste resíduo, através do aquecimento solar que foi potencializado pelas placas de aço galvanizado na qual o lodo foi depositado. Além da necessidade de contenção do resíduo no cesto do forno micro-ondas, a secagem prévia do lodo orgânico à céu aberto, é justificado pois o processo de secagem de materiais pelas micro-ondas necessita de gasto elevado de energia (de acordo com as informações fornecidas pela empresa ONDATEC), principalmente quando o teor de umidade do produto é elevado tornando-o de consistência pastosa, como no caso do lodo orgânico que apresentou variação de consistência nos lotes recebidos. O aproveitamento da energia solar na secagem prévia do lodo orgânico até consistência firme, leva economia no

processamento deste resíduo além de levar a consistência os lotes de lodo de pastoso em torrões. Foram necessários no mínimo 4 dias de secagem em dias ensolarados, ao longo do dia. Após este procedimento lodo seco a céu aberto foi homogeneizado e fracionado em lotes, sendo eles: lote 1 (TP-L1); lote 2 (TP-L2); lote 3 (TP-L3), lote 4 (TP-L4); lote 5 (TP-L5).

Posteriormente e em prosseguimento ao processo de secagem a céu aberto, se fez necessário para diminuir a umidade do lodo a ser tratado pelas micro-ondas, a fim de aumentar a eficiência do forno. O lodo orgânico após tratamento prévio, foi encaminhado para tratamento em forno micro-ondas, no qual foi aquecido até a temperatura de 100°C, visando homogeneidade do processo. A secagem a 100°C do lodo orgânico se deu de forma padronizada, introduzido o resíduo no cesto dentro da cavidade rotativa do forno micro-ondas.

4.2 - TRATAMENTO DO LODO ORGÂNICO PELAS MICRO-ONDAS PARA OBTENÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO

Cada resíduo que se propõe a utilizar como experimento no micro-ondas, necessita de ajustes específicos de parâmetros, sendo: controle de temperatura máxima; velocidade de aquecimento; quantidade de carga no cesto do micro-ondas; rotação do cesto na cavidade; reparação do cesto de acordo com o produto. Para verificar o comportamento do lodo orgânico em estudo frente a irradiação não ionizante (as micro-ondas), os lotes de lodo orgânico previamente tratados perderam água durante o aquecimento até atingir a temperatura de 100° C dentro da cavidade rotativa do forno. Em seguida o material orgânico foi processado no forno micro-ondas em diferentes condições, para avaliar o efeito das micro-ondas no lodo de efluentes de abatedouro de aves para definir e obter o protocolo de processamento para este resíduo, seguido de análise de fertilidade dos produtos gerados.

O princípio de funcionamento das micro-ondas ocorre por meio fonte indiretas de calor, onde o magnetron ao irradiar as ondas eletromagnéticas, irá proporcionar um aumento do grau de agitação das moléculas, pelo processo de ressonância, tendo como consequência a dissipação de calor (Diaz *et al.*, 2005).

4.2.1 Tratamento do Lodo Orgânico Pelas Micro-ondas

Durante o experimento no forno micro-ondas, foi detectado a necessidade de algumas ações e monitoramento de parâmetros, como: níveis de corrente elétrica dos magnetrons; drenagens de líquidos; monitoramento do aspecto dos GNC; determinação mássica dos insumos.

Níveis de corrente elétrica dos magnetrons (Tabela 4.1), que tem uma grande importância, primeiro para saber se o mesmo está funcionando, segundo, se os níveis de corrente elétrica não estão subindo fora do previsto e por último se pode ou não desligar algum magnetron.

Tabela 4.1 - Monitoramento dos níveis de corrente de magnetrons do forno micro-ondas ONDATEC®, no experimento de pirólise do lodo orgânico.

Monitoramento dos níveis de corrente elétrica em (A)								
Hora	Q16	Q17	Q20	Q03	Q11	Q21	Q14	Q15
11:20	6,07	5,87	6,11	5,82	5,75	5,68	5,45	DESLIGADO
11:44	6,72	5,85	6,14	5,65	5,62	5,47	5,39	-
12:28	6,02	5,80	6,01	5,85	5,36	5,30	5,45	-
13:20	6,12	5,90	5,93	5,72	5,32	5,18	5,18	-
14:10	6,46	6,14	6,69	5,89	5,70	6,21	5,82	-
14:56	6,70	6,22	6,54	5,70	5,77	5,95	5,82	-
15:00	Desligou	5,86	6,50	5,95	Queimou	6,16	5,88	-
15:30	-	5,72	6,42	5,77	-	5,85	5,70	-
15:40	-	5,93	6,58	5,85	-	6,01	5,84	-
15:58	-	5,96	6,55	5,98	-	6,01	5,63	-
16:15	-	5,95	6,33	5,97	-	5,70	5,62	-
16:35	-	5,81	6,30	5,72	-	5,98	5,58	-
16:50	-	6,04	6,46	5,74	-	5,97	5,73	-
17:05	-	6,19	6,63	5,90	-	6,23	5,82	-
17:25	-	6,06	6,72	5,83	-	6,13	5,87	-
17:38	-	6,24	6,25	5,90	-	5,98	5,94	-

Fonte: Autor (2018).

As drenagens de líquidos são obtidas na frente e na parte traseira do equipamento (Figura 3.2). Este líquido é constituído de água e de gases condensáveis (GC). O monitoramento do aspecto dos gases da chaminé (Figura 4.3) mostrou a emissão de gases.

A obtenção dos gases emitidos na totalidade (Figura 4.3) durante as etapas de pirólise em fornos micro-ondas, foi realizada através de coleta periódica (com duração 5min e com intervalos de 10 em 10 min) durante o processamento a partir da emissão dos gases não condensados pela

chaminé, e a fração condensável foi coletada na totalidade, ao longo de todo processamento. O material coletado foi encaminhado para o desenvolvimento de trabalhos futuros.



Figura 4.3 – Gases não condensados (GNC) emitidos pela da chaminé do Forno Micro-ondas ONDATEC[®], durante a pirólise do lodo orgânico.

Fonte: Autor (2018).

Na campanha de amostragem da fração de vapores pirolenhos condensáveis, foi definido como tempo ideal de coleta de à parti da emissão dos CNG, de 5 em 5 mim. Esta fração foi avaliado o peso e armazenado para posteriores análises químicas em laboratório externo. A fração do gás não condensável (GNC) e a fração condensável (GC) serão encaminhadas para análise química posterior (trabalhos futuros). Do material processado e produzido e o alcatrão coletado e foi estimado o resultado tomando-se como base o balanço de massa sem reação e energia da etapa de pirólise. Outro ponto importante para análise dos dados são as informações geradas a partir do software supervisor de temperatura (Figura 4.4), onde se poderá chegar algumas conclusões das respostas obtidas em função da temperatura.

Foram realizados 5 experimentos sendo o tratamento do lodo orgânico submetido até as temperaturas de: 220°C (T220-L2); 310°C (T310-L3); 401,5°C (T401-L4); 504° C (T504-L5); 525°C (T525-L4). O registro das temperaturas é demonstrado na Figura 4.5. Analisando o gráfico da Figura 4.5, identifica-se diferentes perfis de comportamento da temperatura de aquecimento

em função do tempo, porém há um grande ponto de intersecção em 100°C, e depois uma curva de crescimento exponencial. Os experimentos com menor umidade tiveram uma curva de crescimento maior, nos casos dos ensaios T525-L4, T401-L4 e T220-L2.

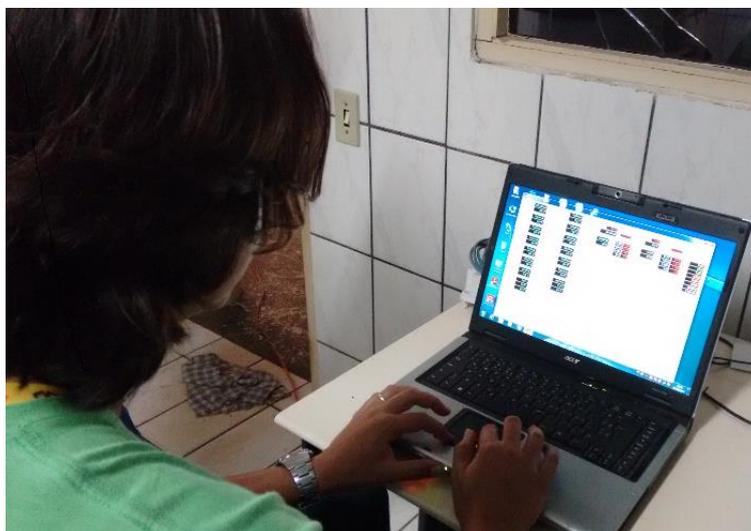


Figura 4.4 - Monitoramento da temperatura nos processos de tratamento do lodo orgânico em forno micro-ondas ONDATEC®.

Fonte: Autor (2018).

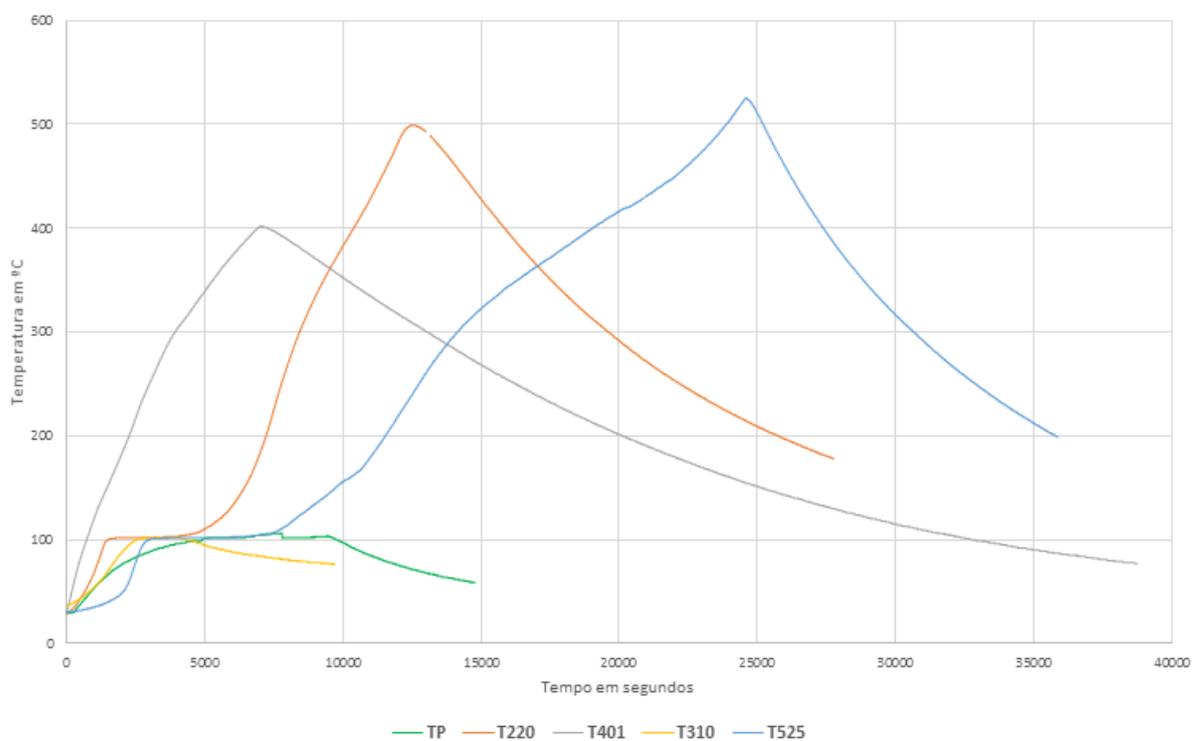


Figura 4.5 – Gráfico da temperatura de aquecimento do forno micro-ondas ONDATEC®, em função do tempo, na pirólise do lodo orgânico.

Fonte: Autor (2018).

Partindo do princípio de que o saiu é igual ao que entrou, foi efetuado o balanço de massa sem reação, utilizando as massas de entrada do lodo previamente tratado, saída, peso dos líquidos de drenagem da frente (água e GC), fundo (água e GC) e a diferença (estimativa) foi o resultado obtido da massa GNC eliminada pela chaminé, calculo obtido pela Equação (4.1):

$$MA = MB + MC + MD + ME \quad (4.1)$$

Onde: MA = massa da carga de lodo orgânico previamente tratado (Kg)

MB = massa da água (Kg) – aquecimento até 100° C

MC = massa do GC (Kg) – aquecimento acima de 100° C

MD= massa do GNC (Kg) - valor calculado por estimativa.

ME= massa do MA após etapa de pirólise (kg)

O Forno Micro-ondas ONDATEC de cavidade sextavada, apresenta dois pontos de drenagem (pontos B e C), característica inerente do equipamento. Nestes pontos são eliminados no forno micro-ondas a água (presente no lodo previamente tratado) até a temperatura de 100° C, e o GC acima desta temperatura. O cálculo do balanço de massa sem reação para dos experimentos realizados estão representados nas Figuras 4.6 a 4.10. O cálculo do balanço de massas demonstra uma % de GNC em torno de 29 a 39% e uma perda de massa do lodo orgânico após tratamento de 18 a 38%. Para trabalhos futuros se faz necessário testes reprodutibilidade nas diferentes temperaturas testadas assim como a qualidade dos gases gerados (GC e GNC).

A Figura 4.6 apresenta os valores obtidos no balanço de massa sem reação no tratamento T220-L até 220° C. O cálculo da quantidade de gases e vapores não condensáveis (GNC) na saída “E”, neste experimento, é de 5,48 Kg (29,56 %), de acordo com a Equação (4.1)

$$MA = MB + MC + MD + ME$$

$$18,54 = 2,55 + 2,10 + 8,41 + ME$$

$$ME = 5,48 \text{ Kg.}$$

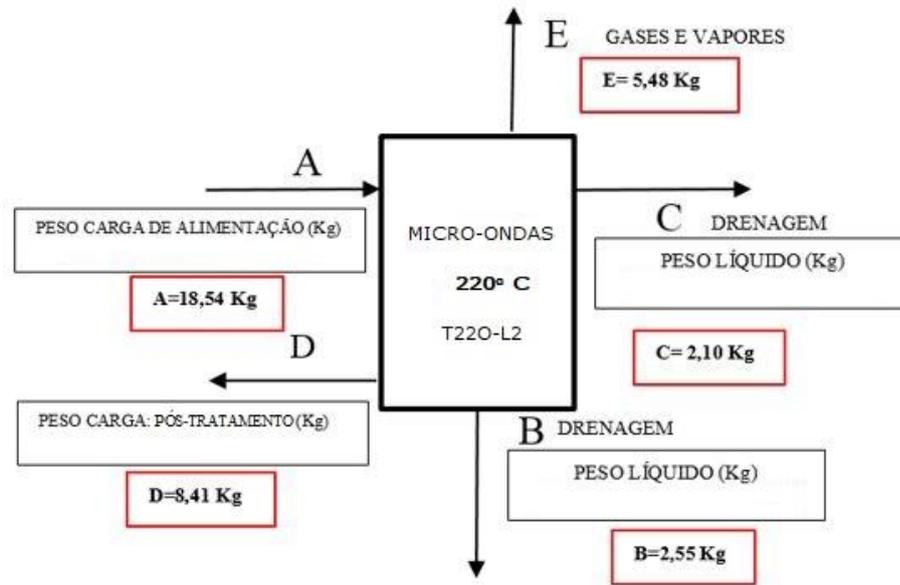


Figura 4.6 - Esquema do balanço de massa sem reação do lodo de esgoto tratado pelas micro-ondas, ensaio T220-L2.

Fonte: Autor (2018).

A Figura 4.7 apresenta os valores obtidos no balanço de massa sem reação no tratamento T310-L3, até 310° C. O cálculo da quantidade de gases e vapores não condensáveis (GNC) na saída “E”, neste experimento, é de 2,50 Kg (9,98 %), de acordo com a Equação (4.1):

$$MA = MB + MC + MD + ME$$

$$25,04 = 5,08 + 0,11 + 17,35 + ME$$

$$ME = 2,5 \text{ Kg}$$

A Figura 4.8 apresenta os valores obtidos no balanço de massa sem reação no tratamento T401-L4 até 401,5°C. O cálculo da quantidade de gases e vapores não condensáveis (GNC) na saída “E”, neste experimento, é de 3,79 Kg (18,23 %), de acordo com a Equação (4.1):

$$MA = MB + MC + MD + ME$$

$$20,79 = 3,23 + 0,17 + 13,60 + ME$$

$$ME = 3,79 \text{ Kg}$$

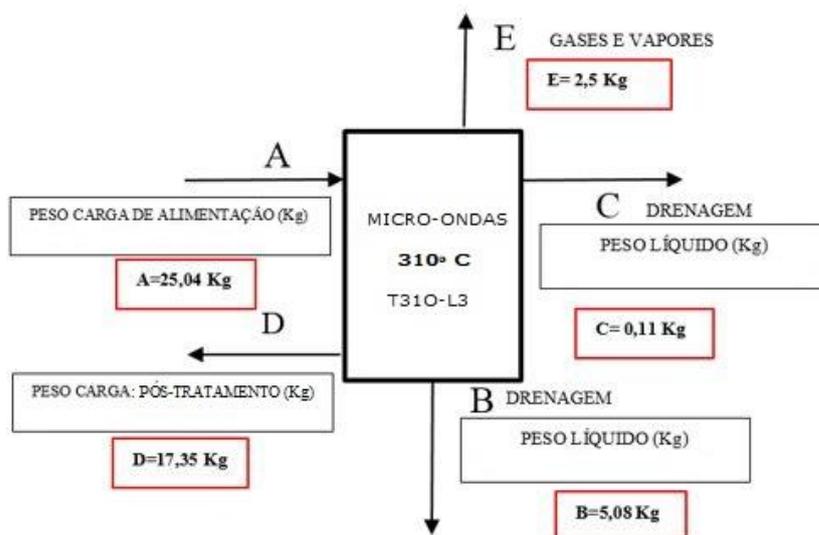


Figura 4.7 - Esquema do balanço de massa sem reação do lodo de esgoto tratado pelas micro-ondas, ensaio T310-L3.

Fonte: Autor (2018).

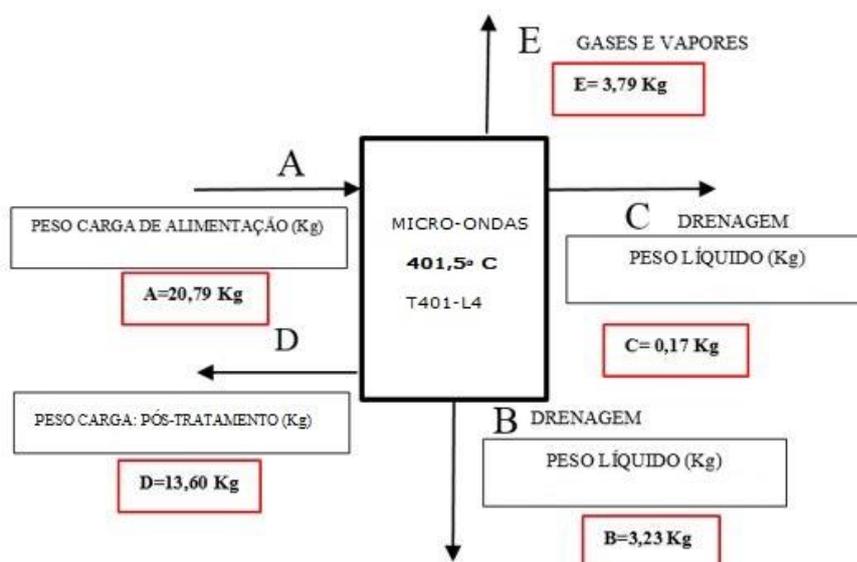


Figura 4.8 - Esquema do balanço de massa sem reação do lodo de esgoto tratado pelas micro-ondas, ensaio T401-L4.

Fonte: Autor (2018).

A Figura 4.9 apresenta os valores obtidos no balanço de massa sem reação no tratamento T504-L5, até 504° C. O cálculo da quantidade de gases e vapores não condensáveis (GNC) na saída “E”, neste experimento, é de 9,11 Kg (34,35 %), de acordo com a Equação (4.1):

$$MA = MB + MC + MD + ME$$

$$26,52 = 8,45 + 0,64 + 8,32 + ME$$

$$ME = 9,11 \text{ Kg}$$

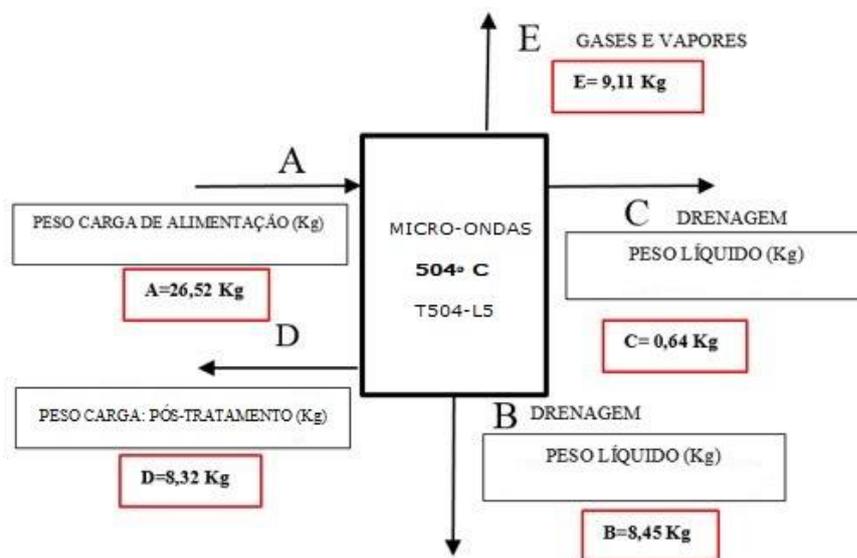


Figura 4.9 - Esquema do balanço de massa sem reação do lodo de esgoto tratado pelas micro-ondas, ensaio T504-L5.

Fonte: Autor (2018).

A Figura 4.10 apresenta os valores obtidos no balanço de massa sem reação no tratamento T525-L5, até 525° C. O cálculo da quantidade de gases e vapores não condensáveis (GNC) na saída “E”, neste experimento, é de 11,75 Kg (38,52 %), de acordo com a Equação (4.1):

$$MA = MB + MC + MD + ME$$

$$30,5 = 5,02 + 0,81 + 12,92 + ME$$

$$ME = 11,75 \text{ Kg}$$

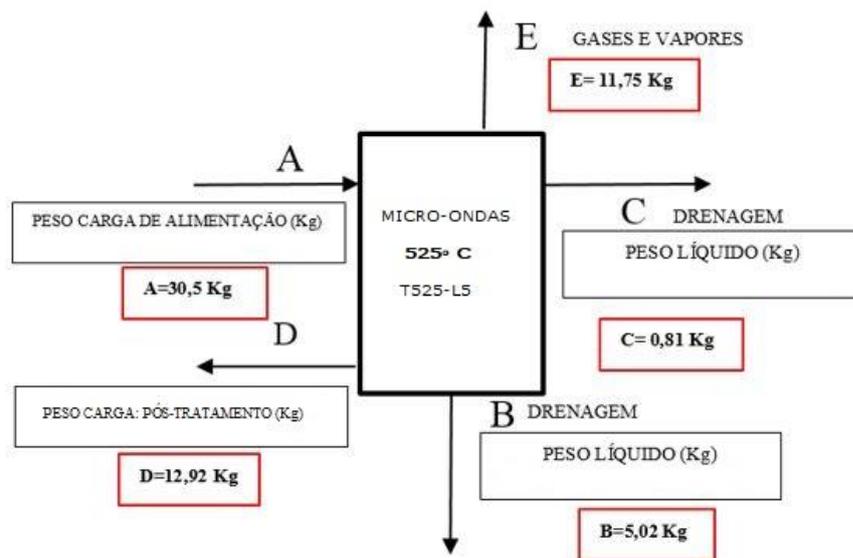


Figura 4.10 - Esquema do balanço de massa sem reação do lodo de esgoto tratado pelas micro-ondas, ensaio T525-L5.

Fonte: Autor (2018).

Após o tratamento pelas micro-ondas o material processado apresentou as características visuais de material não carbonizado, não agregado e com fluidez. Visualmente, os tratamentos a diferentes temperaturas não alteram o aspecto visual do lodo orgânico tratado pelas micro-ondas (Figura 4.11).

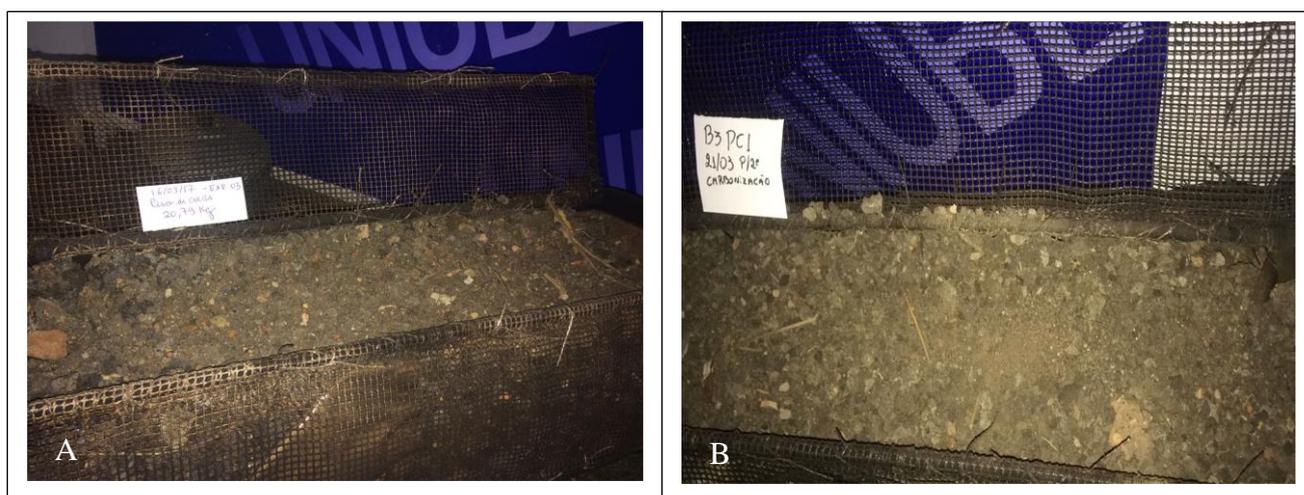


Figura 4.11: Lodo orgânico tratado pelas micro-ondas. Tratamento a 401,5°C / T401,5-L4 (A) e a 310°C / T310-L3 (B).

Fonte: Autor (2018).

4.2.2 Análise como Fertilizante do Lodo Orgânico Após Tratamentos Pelas Micro-ondas

Para serem comercializados como fertilizantes na agricultura, compostos orgânicos devem apresentar características mínimas constantes na legislação brasileira pertinente, conforme a Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009 (Brasil, 2009), tendo em vista as disposições contidas no Decreto nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004 (Brasil, 2004). Segundo esta instrução, os compostos orgânicos devem ter as seguintes garantias e características (m/m): C orgânico total mínimo de 15%, N total mínimo de 1%, pH mínimo de 6,0, umidade máxima de 50%, relação C:N máxima de 18, CTC:C total de 20 e a soma de NP, NK, PK ou NPK deve ser conforme declarada na embalagem.

Na Tabela 4.2 constam os valores, por tratamento, dos seguintes parâmetros: Nitrogênio, Fósforo (P_2O_5), Potássio (K_2O), Cálcio, Magnésio e Enxofre. Analisando-se os dados obtidos no experimento, pode-se afirmar que todos os tratamentos cumprem a legislação brasileira com relação a compostos orgânicos, pois apresentam teores de nitrogênio acima de 1% (valores obtidos de 2,11 a 3,40%), carbono orgânico total acima de 15% (valores obtidos de 23,73 a 32,00%) e relação C:N abaixo de 18 (valores obtidos de 8,17 a 11,30%). Convém destacar que a amostra de fertilizante produzido a partir do lodo sem tratamento é a que foi apenas seca no micro-ondas, ou seja, submetido a apenas a 100° C (Tratamento 1). Esta amostra foi considerada como controle nos nossos ensaios. Para nitrogênio, foram superiores os tratamentos controles e com o uso do micro-ondas a 220, 401 e 504°C, sem desvio padrão, com teores do elemento acima de 3,2%. Segundo a legislação vigente (Brasil, 2009), para a classificação como composto orgânico, deve haver no mínimo 1% de nitrogênio, o que foi possível com todos os tratamentos. A importância de níveis adequados de N em compostos orgânicos foi abordada por Souza e Resende (2006), comentando que níveis de N iguais ou superiores a 2,5% podem proporcionar ganhos de produtividade em hortaliças de até 50%, quando se compara com compostos com menores níveis de N médios. No presente estudo, os níveis médios de nitrogênio ficaram com percentagens superiores a 3,0% (Tabela 4.2). Para o fósforo, o melhor tratamento foi a carbonização a 504°C, com valores de P_2O_5 de 3,67%. A carbonização a 401 e 504° permitiram a obtenção dos melhores valores de K_2O , de 0,21 a 0,25%. Não houve diferença para o elemento cálcio e houve superioridade do tratamento 4 (carbonização a 401°C) para magnésio e dos tratamentos de 1 a 4 para enxofre.

Tabela 4.2 -Teores de macro e micronutriente (em %) quantificados no lodo de efluente de abatedouro de granja por secagem convencional (tratamento 1) e tratado pelas micro-ondas (tratamentos de 2 a 5).

Tratamentos	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	NPK (%)	Ca	Mg	S	CaMg S (%)	Total de Macronutrientes
T100-L1 (Secagem a 100 °C)	3,25a	2,58c	0,18ab	6,01	2,01a	0,40c	3,13a	5,54	11,55
T220-L2 (Carbonização a 220 °C)	3,26a	3,11b	0,16b	6,53	2,28	0,50b	3,17a	5,95	12,48
T310-L3 (Carbonização a 310 °C)	3,34a	3,02b	0,17b	6,52	2,21a	0,50b	2,70a	5,41	11,94
T401-L4 (Carbonização a 401,5 °C)	2,11b	3,24b	0,21ab	5,56	2,12a	0,63a	2,70a	5,46	11,02
T504-L5 (Carbonização a 504 °C)	3,40a	3,67a	0,25a	7,32	2,96a	0,53b	1,43b	4,92	12,24
DMS	0,356	0,415	0,070		1,020	0,098	0,496		
CV (%)	4,31	4,94	13,57		16,12	7,11	7,02		

Segundo Stipp (2013), todas as plantas necessitam de pelo menos 17 elementos essenciais para completar o seu ciclo de vida, incluindo 14 minerais (macronutrientes e micronutrientes) e três não minerais, o carbono (C), o hidrogênio (H) e o oxigênio (O). Para a nutrição de plantas, classifica-se os elementos minerais em dois grupos: os macronutrientes e os micronutrientes, classificação essa relativa à exigência de cada elemento pelas plantas, sendo os macronutrientes aqueles absorvidos em maiores quantidades. Podem ser subdivididos em macronutrientes primários: o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K); e em macronutrientes secundários: o cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e o enxofre (S), que são os elementos minerais absorvidos em maiores quantidades (Stipp, 2013).

Nota-se que a soma dos macronutrientes primários (aqueles exigidos em maiores quantidades pelas plantas) o NPK foi de 5,56 a 7,32% (conforme Tabela 4.2), a de macronutrientes secundários foi de 4,92 a 5,95% (Tabela 4.2), o que permitiu a obtenção de compostos com alta quantidade percentual de macronutrientes, de 11,02 até 12,48%. Trabalhando com compostagem de maravalha de suínos em camas sobrepostas, Higarashi e colaboradores (2008) obtiveram teores totais de macronutrientes de 11,6%, muito similares aos encontrados no presente trabalho.

Considerando-se, a título de exemplo, as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG), para adubação da cana-de-açúcar (80 kg/ha de P_2O_5 , 90 kg/ha de K_2O e 60 kg/ha de N (Cfsemg, 2002), se fossem aplicados 3 Ton/ha, seria possível substituir totalmente a adubação mineral nitrogenada e fosfatada da cultura da cana para os tratamentos T2, T3 e T5, pois o composto orgânico permite o fornecimento de 98, 100 e 102 kg/ha de nitrogênio e 93, 91 e 110 kg/ha de P_2O_5 , respectivamente. Apenas haveria a necessidade de reposição por fertilizantes minerais potássicos.

É importante observar que fertilizantes minerais adquiridos no mercado, por tonelada, dependendo dos elementos, custam de R\$ 1.200 a R\$ 3.000,00. Com a utilização de compostos orgânicos, como os obtidos no presente ensaio, seria possível economizar quase a totalidade dos macronutrientes, configurando numa economia por hectare de R\$ 3.600,00 a R\$ 9.000,00, melhorando a lucratividade da atividade agrícola e promovendo benefício ao meio ambiente, pois o resíduo de uma atividade (criação de aves) se torna o insumo de outra atividade (cultivo da cana-de-açúcar).

Nas Figuras 4.12 e 4.13 constam os valores da relação Carbono:Nitrogênio (C:N) e carbono orgânico, com respectivos desvios padrões, para cada tratamento. O tratamento com a maior porcentagem de carbono orgânico, diferente dos demais, foi o de número 5 (carbonização a 504°C). Convém salientar que todos os tratamentos cumprem a classificação vigente (Brasil, 2009), que preconizam teor mínimo de 20% para carbono orgânico. Já o tratamento com a maior relação Carbono:Nitrogênio foi o número 5 (carbonização a 504°C). Segundo Kiehl (1985), a relação C:N dos resíduos orgânicos influencia diretamente no desempenho dos microrganismos, configurando a facilidade e velocidade de decomposição dos materiais empregados no processo de degradação da matéria orgânica. A ação dessa relação se dá pelo fato de o carbono ser a fonte de energia e o nitrogênio ser a fonte básica para a reprodução e crescimento celular (Suszec, 2005). Os parâmetros como a relação C:N é abaixo de 12 %, e o carbono orgânico é superior a 20% em todos os tratamentos realizados. No tratamento 220° C sugere ser a melhor opção na preservação da amônia, pois houve menos volatilização do elemento.

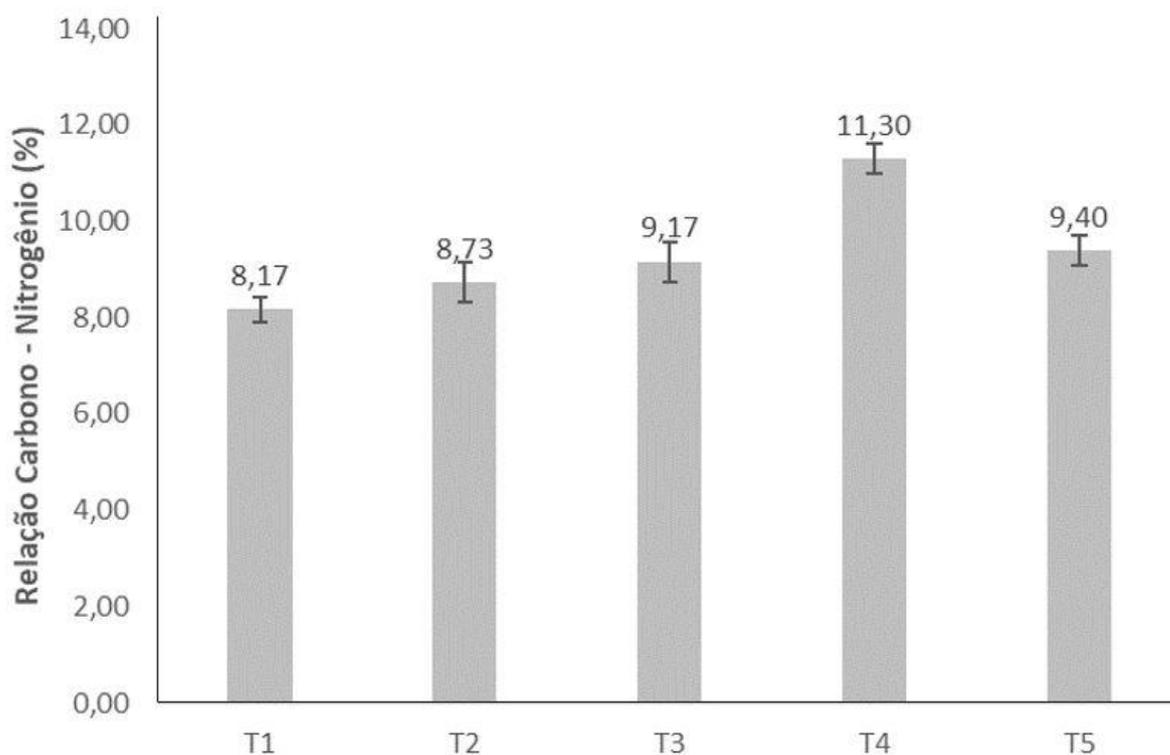


Figura 4.12 – Relação C:N para os diferentes tratamentos, com desvio padrão.

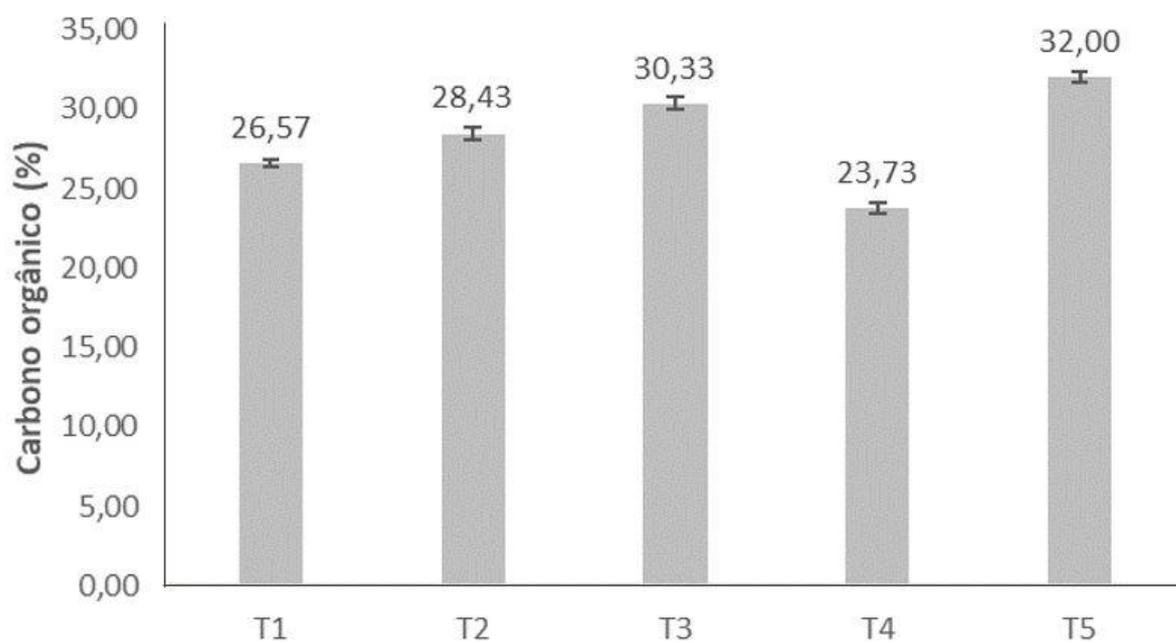


Figura 4.13 – Carbono orgânico para os diferentes tratamentos, com desvio padrão.

O tratamento de resíduos de abatedouro de aves, após tratamento com tecnologia de micro-ondas, permite a obtenção de composto orgânico com poder fertilizante NPK e atende

exigências da legislação (Brasil, 2004; Brasil, 2009), favorecendo o seu uso como fertilizante para a maior parte dos cultivos, exceto para as hortaliças consumidas cruas, quando é necessária uma análise mais específica de metais pesados e bactérias prejudiciais ao uso humano. Este fato sugere para trabalhos futuros a análise de metais pesados nos lodos orgânicos tratados pelas micro-ondas, para verificar sua viabilidade de uso como fertilizante de hortaliças.

A utilização dos compostos obtidos com a tecnologia de micro-ondas é viável como fertilizante, pois permitiu a obtenção de produtos com teores de macronutrientes acima de 11%, chegando a valores máximos de 12,5%, agregando valor ao resíduo.

4.3 - INATIVAÇÃO MICROBIANA DO LODO ORGÂNICO PELAS MICRO-ONDAS

A análise da carga microbiana (contagem de unidades formadoras de colônias -UFC/g) no lodo orgânico de abatedouro de aves, tratado previamente (TP-L) a céu aberto entre placas de metal (aço galvanizado), apresenta contaminação microbiana. A cada grama de amostra analisada, a carga microbiana encontrada é de 10^7 a 10^8 UFC/g, para os 3 lotes de lodo orgânico (Tabela 4.3), sendo os lotes denominados de: TP-L2; TP-L4; TP-L5. Estes lotes de lodo orgânico foram posteriormente processados pelas micro-ondas.

Tabela 4.3 - Análise da carga microbiana do lodo orgânico, após tratamento prévio céu aberto entre placas de metal.

Amostra	Carga microbiana (UFC/g)		
	n1*	n2*	n3*
TP-L2	1×10^7	5×10^7	2×10^7
TP-L4	3×10^7	5×10^7	nr **
TP-L5	2×10^8	2×10^8	nr **

* n1, n2 e n3 – repetições das análises

** nr - análise não realizada

Após processamento pelas micro-ondas, do lodo orgânico previamente tratado (TP-L), à diferentes temperaturas as mesmas foram submetidas à análise microbiana, a fim de avaliar a capacidade de inativação em diferentes condições de tratamento. A amostra TP-L2 tratada à

temperatura máxima de 220°C, passou a ser denominado de T220-L2. A amostragem de T220-L2 para análise microbiológica, se deu logo após o resfriamento do término do tratamento, e ocorreu dentro do forno, imediatamente após abertura da cavidade que se encontrava o cesto com o material processado. O ensaio microbiológico deste tratamento mostrou que houve eliminação da totalidade dos microrganismos onde a contaminação de 1 a 5×10^7 UFC/g (TP-L2 – Tabela 4.4) foi a zero (T220-L2 – Tabela 4.4).

Tabela 4.4 - Análise da carga microbiana do lodo orgânico após tratamento em forno micro-ondas ONDATEC de cavidade rotativa.

Amostra	Tratamento pelas micro-ondas T°C máxima	Carga microbiana (UFC/g)		
		n1*	n2*	n3*
T220-L2	220	não cresceu	não cresceu	não cresceu
T504-L4	504	24×10^3	16×10^3	nr **
T525-L5	525	11×10^4	10×10^4	nr **

* n1, n2 e n3 – repetições das análises

** nr - análise não realizada

A análise microbiana do tratamento T220-L2 do lodo orgânico (Figura 4.14), demonstra a ausência de fungos e Unidades Formadoras de Colônias (UFC/g) no teste microbiológico realizado em triplicata até a diluição de 10^{-6} g/mL. Este tratamento demonstra ser eficiente quanto à inativação microbiana.

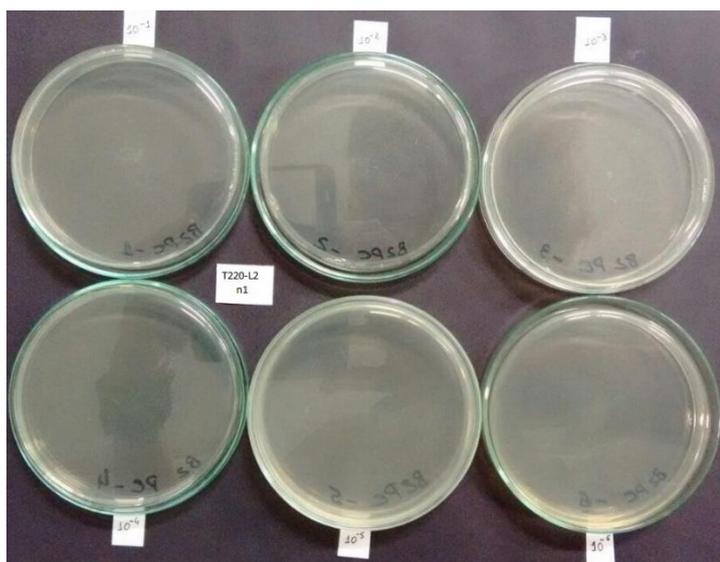


Figura 4.14 – Ausência de carga microbiana (UFC/g) no lodo orgânico tratado pelas micro-ondas, até 220°C (Ensaio T220-L2, n1).

Fonte: Autor (2018).

A amostra TP-L4 tratada pelas micro-ondas à temperatura máxima de 504°C, permaneceu 12 h no forno após tratamento, passando a ser denominado de T504-L4, e sua amostragem para análise microbiológica ocorreu no cesto fora do forno, imediatamente após sua retirada da cavidade rotativa. Para este tratamento o ensaio microbiológico mostrou que houve diminuição na carga microbiana, onde a contaminação de 3 a 5 x 10⁷ UFC/g (TP-L4 – Tabela 4.12) foi reduzida/inativada para 16 a 24 x 10³ UFC/g (T504 – L4 - Tabela 4.4 e Figura 4.15).

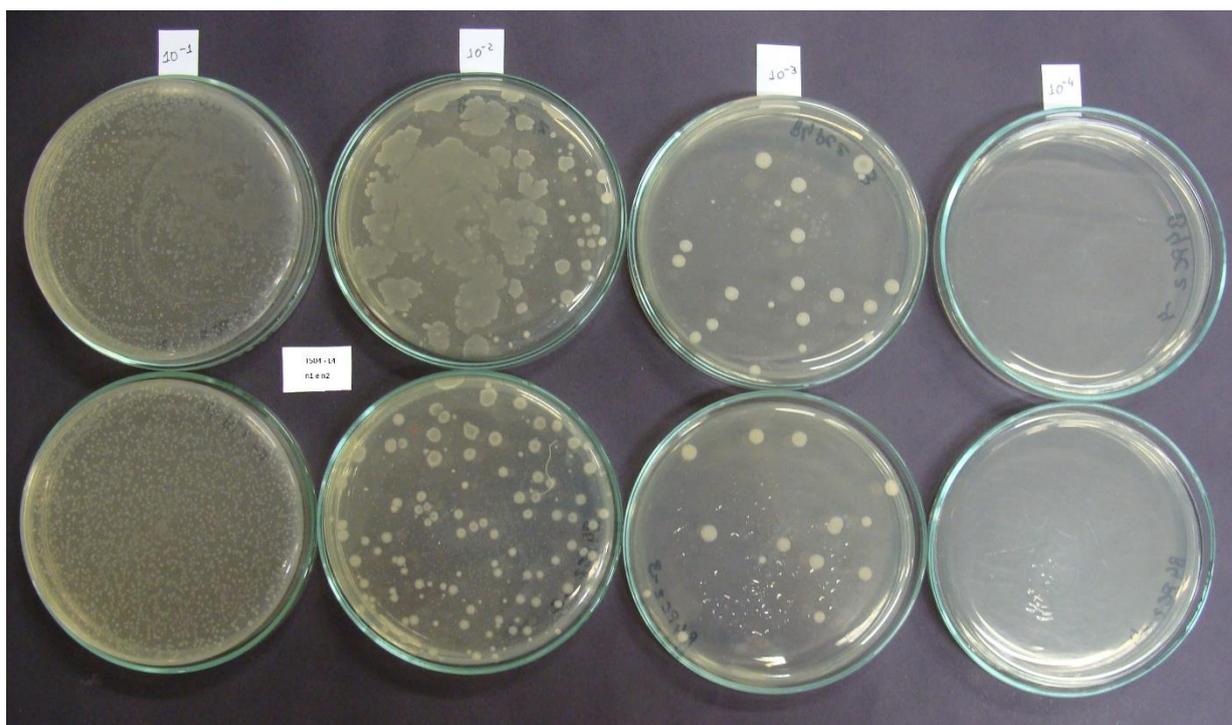


Figura 4.15 – Carga microbiana (UFC/g) no lodo orgânico tratado pelas micro-ondas, até 504°C (Ensaio T504-L4, n1 e n2).

Fonte: Autor (2018).

A amostra TP-L5 tratada à temperatura máxima de 525°C no forno micro-ondas, com permanência de 60 h no forno fechado após tratamento, passou a ser denominado de T525-L5. Sua amostragem para análise microbiológica ocorreu no cesto fora do forno, imediatamente após sua retirada da cavidade rotativa. Neste tratamento o ensaio microbiológico mostrou que houve diminuição na carga microbiana, onde a contaminação de 2 x 10⁸ UFC/g (TP-L5 – Tabela 4.3) foi reduzida ou inativada para 10 a 11 x 10⁴ UFC/g (T504-L4– Tabela 4.4 e Figura 4.16). O que diferenciou o tratamento T504-L4 do tratamento T525-L5 foi o tempo (12 e 60 h respectivamente) em que o material permaneceu no forno após tratamento.

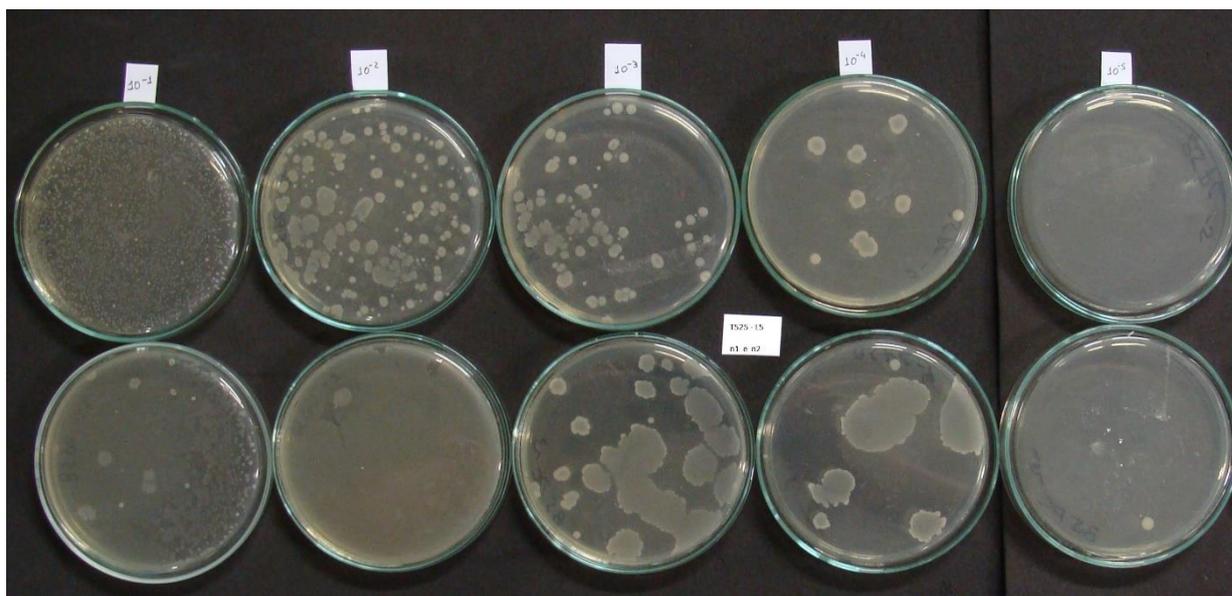


Figura 4.16 – Carga microbiana (UFC/g) no lodo orgânico tratado pelas micro-ondas, até 525°C (Ensaio T525-L5, n1 e n2).

Fonte: Autor (2018).

Levando em conta que a amostragem dos lotes de lodo orgânico tratados pelas micro-ondas ocorreu à diferentes temperaturas máximas de tratamento (220°C, 504°C e 525°C), em diferentes tempos de permanência do lodo no forno após processamento, e de diferentes formas de amostragem (no cesto dentro ou fora da cavidade rotativa do forno), nos 3 ensaios realizados, a carga microbiana foi eliminada ou reduzida em relação a carga microbiana dos respectivos lotes antes do tratamento pelas micro-ondas. Este fato está relacionado não apenas a temperatura do tratamento, mas também as condições de amostragem dentro e fora do forno, e o tempo de permanência no forno após tratamento.

A ação das micro-ondas no lodo orgânico a 220°C e a não permanência no forno do material tratado foram capazes de eliminar em sua totalidade a carga microbiana, lembrando que a amostragem tem que ser realizada dentro do forno logo após resfriamento. É atrelado assim a recontaminação do material tratado à sua permanência no forno após tratamento. Quanto mais tempo o material permanece no forno maior a recontaminação com microrganismos: 16 a 24 x 10³ UFC/g /12h no forno (ensaio T504-L4) e 10 a 11 x 10⁴ UFC/g/60h no forno (ensaio T525-L5). Outro fator que contribui com a recontaminação do lodo tratado, é a amostragem realizada fora do forno do material para análise, o que provoca a contaminação com microrganismos da atmosfera do meio em que se encontra. Se o tratamento tivesse sido realizado em meio estéril

poderíamos dizer que o lodo foi esterilizado nas pelas micro-ondas nas condições de tratamento submetida.

O Forno Micro-ondas Rotativo ONDATEC® não apresenta sistema de fechamento hermético, onde durante o processo de resfriamento, por diferença de pressão, ocorre a entrada do ar do ambiente em que ele se encontra para dentro do forno. Sabe-se ainda que durante a etapa de resfriamento e eliminação do gás condensável (GC) durante e após o tratamento pelas micro-ondas, é necessário a abertura das válvulas “B” e “C” (vide Figura 3.13 no item metodologia). A abertura destas válvulas implica na penetração do ar externo que é contaminado com microrganismo para o interior da cavidade do forno, onde se encontra a amostra, promovendo a recontaminação do resíduo processado com microrganismos do meio ambiente. Estas são as razões pela qual em nosso experimento utilizamos a expressão inativação microbiana e não esterilização do lodo quando tratado pela irradiação não ionizante emitida pelas micro-ondas.

A verificação da efetividade do tratamento do resíduo pelas micro-ondas, determinado pela diferença das cargas microbianas (UFC/g) obtidas antes e após tratamento, é real, onde em todos tratamentos à diferentes temperaturas atingidas e em diferentes tempos de permanência no forno, a redução ou inativação bacteriana foi evidente. As amostras tratadas T504-L4 e T525-L5 apresentaram grau de contaminação abaixo de 1×10^6 UFC/g, parâmetro este estipulado como contaminação aceitável pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, para resíduos classificados como perigosos, como aqueles provenientes de contaminação bacteriana (Brasil, 2006). As amostras contaminadas apresentaram presença de fungo que não foram determinados, por não ter sido o objeto do trabalho.

4.4 – DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES IDEAIS DE PIRÓLISE DO LODO ORGÂNICO EM FORNO MICRO-ONDAS DE CAVIDADE ROTATIVA

O Fluxograma de processamento do lodo pelas micro-ondas (Figura 4.15) consiste no protocolo de processamento do lodo orgânico proveniente de abatedouro de aves em forno microndas piloto de cavidade rotativa, tecnologia ONDATEC.

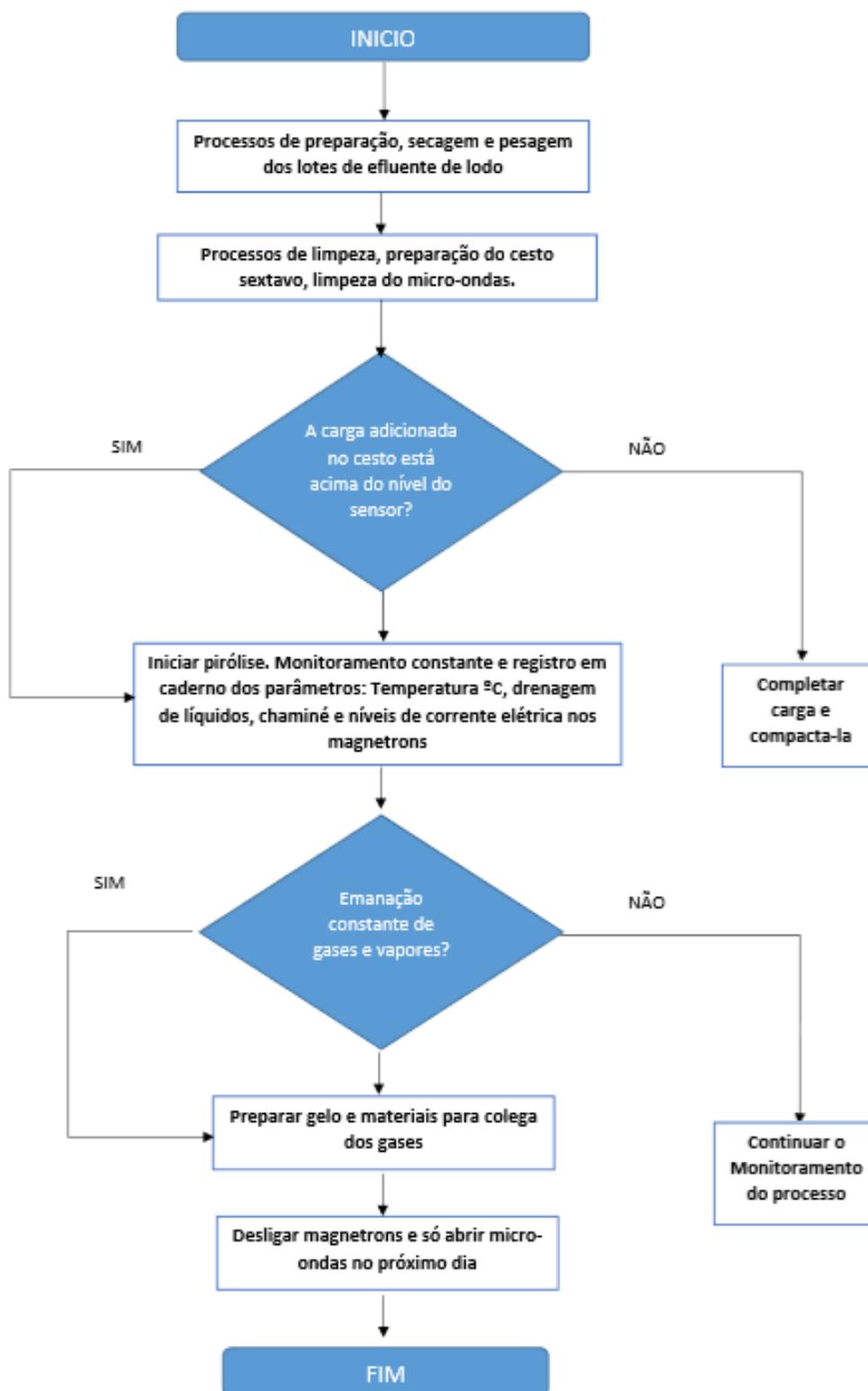


Figura 4.17 - Fluxograma elaborado a partir do processamento do lodo orgânico, em forno micro-ondas de cavidade rotativa (tecnologia ONDATEC), esquematizando o protocolo de processamento, desenvolvido neste trabalho.

Fonte: Autor (2018).

CONCLUSÃO

O lodo orgânico proveniente de abatedouro de aves tratado por em forno rotativo de tecnologia ONDATEC[®], atende às exigências da legislação brasileira, como fertilizante para a maior parte dos cultivos. Seu uso para as hortaliças consumidas cruas só poderá ser avaliado após análise de metais pesados, pois estes elementos são prejudiciais ao homem, análise que deverá ser feita em trabalhos futuros.

A irradiação não ionizante emitida pelas micro-ondas (forno ONDATEC[®]) é capaz de inativar os microrganismos presentes no lodo orgânico proveniente de abatedouro de aves.

O tratamento utilizado no experimento se caracteriza por proposta interessante por transformar um resíduo em produto orgânico de utilidade na agricultura. Este fato tem relevância quando se leva em consideração a existência de uma tendência mundial para a criação de leis e barreiras comerciais a produtos cujas cadeias possam gerar a degradação ambiental, como é o caso dos abatedouros de aves que geram efluentes e lodos como resíduos ambientais.

Com os resultados obtidos neste estudo foi possível a elaboração do protocolo de processamento do lodo orgânico proveniente de abatedouro de aves, em forno piloto de micro-ondas, de cavidade sextavada, giratório, tecnologia ONDATEC[®], que através dos dados gerados possa contribuir na projeção de um forno específico para tratamento do resíduo aqui estudado.

PERSPECTIVAS FUTURAS

O uso do composto orgânico gerado a partir de efluente de abatedouro de aves submetido a ação das micro-ondas, permitirá a empresa obter benefício ambiental, economia de áreas físicas através da liberação dos pátios de estoque do resíduo lodo, agregar valor econômico para o produto gerado a partir do resíduo processado. Se faz necessário a realização do estudo de análise de custo do processo.

O trabalho desenvolvido contribuirá com futuros experimentos nesta linha de pesquisa para avaliação da composição química e do poder calorífico dos gases condensados e não condensados gerados no processo de tratamento aqui apresentado.

O uso do fertilizante orgânico gerado neste trabalho poderá ser utilizado na substituição da adubação mineral nitrogenada e fosfatada, necessitando apenas de reposição de fertilizantes minerais potássicos. O custo de Fertilizantes minerais sendo de R\$ 1.200 a R\$ 3.000/Tonelada, o uso do produto gerado como fertilizante poderá promover uma economia de (R\$ 3.600 a R\$ 9.000)/Tonelada.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos: Classificação**. NBR 10.004, Rio de Janeiro, 2004.

BERNI, M. D.; BAJAY, S. V. Geração de energia e a digestão anaeróbica no tratamento de efluentes: estudo de caso na indústria de papel, **An. 3. Enc. Energ. Meio Rural**, 2003.

BORGES, F.; SELLIN, N.; MEDEIROS, S. H. W. Caracterização e avaliação de lodos de efluentes sanitário e industrial como biomassa na geração de energia, **Ciência & Engenharia**, 17(1/2), 27 – 32, 2008.

BOTÃO, S. G., LACAVA, P. M. Uso do bagaço da cana-deaçúcar para co-geração de energia elétrica no Estado de São Paulo e a comercialização do excedente da energia gerada. **Revista de Biociências**, v. 9, p. 17-37, 2003.

BRAGA, N.P. Quantidade e qualidade das emissões atmosféricas na carbonização da madeira. **II Fórum nacional sobre carvão vegetal**. Arcelor Mittal Bioenergia, 2010.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto n.4954, 14 jan. 2004.

BRASIL. **Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde**. Brasília: Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2006.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **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**. Instrução normativa n.25, 23 jul. 2009.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2010.

BRASIL. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Ministério da Agricultura, P. E. A. Brasília: MAPA/SDA/CGAL Secretaria de Defesa Agropecuária. 2014. 220 p.

BRIDGWATER A.V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading, **Biomass and Bioenergy**, 38:68–94, 2012.

BRITO, J.O. **O uso energético da madeira. Estudos avançados 21**. Escola Superior de Agricultura, Esalq/USP, 2007.

BUCEK, E. U.; TOLEDO, R. N. de; MORAIS, A. dos S.; OKURA, M.; FERNANDES, A. L. T.; VELASCO, N. D. Desinfecção de resíduo de serviço de saúde com irradiação pelas micro-ondas em cavidade rotativa. Anais COBEQ XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 1-8, 2016.

CASTELLS, X. E. Treatment and energy recovery from waste: **Dias De Santos & Fundacion Universitaria Iberoamericana**; 2005. Xx p, livro ou artigo?

CFSEMG. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**; 5º aproximação. Lavras, 2002, 359 p.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Rendimento de cana- de-açúcar cultivada em Argissolo, utilizando lodo de esgoto como fonte de fósforo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 495-502, 2009.

DE SENA, R. F.; CLAUDINO, A.; MORETTI, K.; BONFANTI, I. C.; MOREIRA, R. F. P. M.; JOSÉ, H. J. Biofuel application of biomass obtained from a meat industry wastewater plant through the flotation process-A case study. **Resources Conservation and Recycling**, v. 52, n. 3, p. 557-569, 2008.

DIAZ, L. F.; SAVAGE, G. M.; EGGERTH, L. L. Alternatives for treatment and disposal of healthcare wastes in developing countries. **Waste Management**, 25(6), 626-637, 2005.

EPE. Balanço energético nacional: ano base 2017. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2008, 248p

EPE. Balanço energético nacional: ano base 2017. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2018, 62p

FERNÁNDEZ, Y; ARENILLAS, A; MENÉNDEZ, Á. **Microwave Heating Applied to Pyrolysis** (chapter 3). In: Advances in Induction and Microwave Heating of Mineral and Organic Materials. Spain: Instituto Nacional del Carbón, 723-752, 2011.

HIGARASHI, M. M.; COLDEBELLA, A.; OLIVEIRA, P. A. V.; KUNZ, A.; MATTEI, R. M.; SILVA, V. S.; AMARAL; A. L. Concentração de macronutrientes e metais pesados em maravalha de unidade de suínos em cama sobreposta. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 311-317, 2008.

KAPPE, C. O.; STADLER, A.; MANNHOLD, R.; KUBINYI, H.; FOLKERS, G. **Methods and principles in medicinal chemistry: microwaves in organic and medicinal chemistry**, John Wiley & Sons; 2006.

KAPPE, C. O.; STADLER, A.; DALLINGER D., MANNHOLD, R.; KUBINYI, H.; FOLKERS, G. **Microwaves in organic and medicinal chemistry**, John Wiley & Sons; 2012.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KUMAR, A.; PUROHIT, P.; RANA, S.; KANDPAL, T.C. An approach to the estimation of the value of agricultural residues used as biofuels. **Biomass and Bioenergy**, 22, 195-203, 2002.

MEENAKSHI, P. **Elements of Environmental Science and Engineering**, pg 227; 237, Ed. Prentice Hall: Delhi, 2008. 312p.

LINCOPAN, N., TRABULSI, L. R. **Pseudomonas aeruginosa**. In: TRABULSI, L. R., ALTERTHUM, F. Microbiologia. 4ª ed. São Paulo: Editora Atheneu, p. 359-375, 2004.

MORAIS, A. S.; FERNANDES, A. L. T.; TOLEDO, R. N.; VELASCO, N. D.; BUCEK, E. U. Caracterização de efluentes da pirólise de biomassa assistida por micro-ondas, **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Química - ABEQ, 1, 1-10, 2016.

MOTASEMI, F.; AFZAL, M. T. A review on the microwave-assisted pyrolysis technique. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 28, p. 317-330, 2013.

OLIVEIRA, E. A. Inativação de esporos de *Bacillus atrophaeus* em resíduos de serviços de saúde por aquecimento dielétrico do tipo micro-ondas, Dissertação Programa Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP, Ribeirão Preto, 2010. 103p.

PASSIANOTO, C. C.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; LIMA, A. C. R.; LIMA, C. L. R. Atividade e biomassa microbiana no solo com a aplicação de dois diferentes lodos de curtume, **Rev. Bras. de Agrociência**, v. 7, n. 2, p. 125-130, 2001.

PEREIRA, E.J.S; PINHO, J.T. **Forno industrial de micro-ondas de 3kW alimentado por magnetrons de uso doméstico**. Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas – GEDAE/DEEC/CT/UFGA. 2000.

PICHTEL, J. **Waste management practices: municipal, hazardous, and industrial**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. 649 p.

PISANI JÚNIOR, R.; TONUCCI, L. R. S.; INNOCENTINI, M. D. M. Inativação de pseudomonas aeruginosa em resíduos de serviços de saúde por microondas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 13(3), 284-290, 2008.

RIBEIRO, A. P. R. A. **Influência da qualidade do carvão e das condições operacionais no processo de combustão de uma usina termelétrica**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, Brasil, 2002.

ROSA, F. S.; LUNKES, R. J.; SOLER, C. C.; FELIU, V. M. R. Estudo sobre o Global Report Initiative de empresas de energia elétrica dos Estados Unidos, do Brasil e da Espanha no período de 1999 a 2010. **Revista Organizações em Contexto**, v. 9, n. 17, p. 99-124, 2013.

SENA, R. F. **Avaliação da biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia**, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 83p.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A.; HIROMITANIWAKI, M.; SANTOS, R. F. S.; GOMES, R. A. R.; OKAZAKI, M. M. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. 4. ed. São Paulo: Varela, 2010. 624 p.

SMITH, P.G.; SCOTT, J.S. **Dictionary of water and waste management**. 2ª ed. Amsterdam: Elsevier. 2005. 486 p.

SOUZA, J. L.; RESENDE, P. **Manual de Horticultura Orgânica**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2006, 842p.

STIPP, S.R. **Nutrição de Plantas**. International Plant Nutrition Institute, Tradução 4C, Piracicaba: IPNI, 2013, 134p.

SUSZEC, M. **Efeitos da inoculação na compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos verdes urbanos**, Dissertação do Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2005. 57p.

TONUCI, L.R.S. **Desinfecção do Resíduo de Serviço de saúde por aquecimento dielétrico do tipo microondas**, Dissertação Programa Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP, Ribeirão Preto, 2006. 108p.

ANEXOS

ANEXO 01: Certificado ISO 9001:2015 – Empresa Labfert



FUNDAÇÃO VANZOLINI

CERTIFICADO DE SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE

A FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI
certifica que a organização
LABFERT ANÁLISES LTDA
Rua José Bonifácio, 1067 - Uberaba - MG – Brasil
Rua Comendador Correia Junior, 921 – Paranaguá – PR – Brasil
para o seguinte escopo:

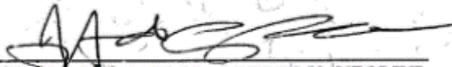
Prestação de serviços de análises físico-químicas, por via úmida e instrumental, em fertilizantes agrícolas, insumos e produtos intermediários na unidade de Paranaguá - PR, Uberaba - MG (Matriz) e em unidades de clientes e análise de solos, foliar, ambiental, alimento animal e análises especiais (serviços de bancada ou maiores, por batelada ou contínuos usando métodos de análise estabelecidos na Labfert ou do cliente, para avaliação preliminar de minérios ou processos), na matriz de Uberaba - MG.

implementou e mantém um
Sistema de Gestão da Qualidade
Através de auditoria da Fundação Vanzolini foi comprovado que
este Sistema de Gestão cumpre os requisitos da norma:

NBR ISO 9001: 2015
Sistemas de Gestão da Qualidade - Requisitos

Este certificado é válido até: 05 de Fevereiro de 2019

Número do Certificado: SQ-18313
São Paulo, 03 de Fevereiro de 2017



FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI
Rua Camburiá, 255
Alto da Lapa - São Paulo - SP - Brasil



PARTNER OF
IONet
THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK

SQ-M00937



Gestão da
Qualidade
F
OCS 001



MEMBER OF MULTILATERAL
ACCREDITATION ARRANGEMENTS
IAF

A validade deste documento poderá ser confirmada em:
<http://vanzolinicert.org.br/validade/>

PAPEL 100% NATURAL 50% RECICLADO