

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO -  
PPGEP**

**SABRINE BASSO**

**O USO DO LICOR PIROLENHOSO COMO AGENTE SANEANTE EM  
LODO DE ESGOTO ESTABILIZADO**

**DISSERTAÇÃO**

**PONTA GROSSA**

**2021**

**SABRINE BASSO**

**O USO DO LICOR PIROLENHOSO COMO AGENTE SANEANTE EM LODO DE  
ESGOTO ESTABILIZADO**

**USE OF PYROLIGNEOUS LIQUOR AS A SANITIZING AGENT IN STABILIZED  
SEWAGE SLUDGE**

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Engenharia de  
Produção da Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná (UTFPR)

Orientador: Prof. Dr. Aldo Braghini Júnior

Coorientadora: Dra. Sueli de Fátima de Oliveira  
Miranda Santos

**PONTA GROSSA**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Ponta Grossa



SABRINE BASSO

## **O USO DO LICOR PIROLENHOSO COMO AGENTE SANEANTE EM LODO DE ESGOTO ESTABILIZADO**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 25 de Fevereiro de 2021

Prof Aldo Braghini Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Antonio Augusto De Paula Xavier, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Antonio Vanderley Herrero Sola, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Raquel Silveira Ramos Almeida, Doutorado - Universidade de São Paulo (Usp)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 25/02/2021.

## RESUMO

### O Uso do Licor Pirolenhoso Como Agente Saneante em Lodo de Esgoto Estabilizado

O licor pirolenhoso é proveniente da condensação de parte dos gases gerados durante a carbonização da madeira. É composto por uma gama de substâncias químicas, dentre as quais se destacam os compostos ácidos e fenólicos e, em maior concentração, água. Os estudos sobre as possibilidades de uso do licor pirolenhoso (LP) são emergentes no Brasil, principalmente aqueles relacionados às propriedades antimicrobianas. Neste contexto, o presente estudo objetiva verificar a eficiência do licor pirolenhoso como agente saneante para a desinfecção do lodo do esgoto estabilizado. O LP foi obtido experimentalmente a partir de três carbonizações de *Eucalyptus dunnii* em fornos circulares de alvenaria. Foram retiradas pequenas alíquotas diretamente do tubo coletor em intervalos de quatro horas para a análise de pH, representando a composição pontual do LP segundo o desenvolvimento da carbonização. Para a tratamento experimental foram retiradas amostras do recipiente de armazenamento coletadas durante a 12<sup>a</sup> à 88<sup>a</sup> hora de carbonização, representando a composição total do LP, também caracterizadas segundo o pH. As amostras de lodo estabilizado foram coletadas junto a estação de tratamento de efluentes (ETE), em Ipiranga-PR, 12 dias após a descarga em leito de secagem, caracterizadas segundo a determinação de sólidos totais, fixos e voláteis de acordo com a Norma Técnica Internacional 23/2017 (Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater). O tratamento experimental consistiu na aplicação de LP sobre as amostras de lodo utilizando-se diferentes dosagens, 0ml (controle), 10ml, 30ml e 50ml. As amostras tratadas foram submetidas à análise microbiológica segundo o método proposto por Hoffman, Pons e Janer, realizado após 24h, 48h e 50 dias após aplicação do LP. Foram identificados ovos e larvas de *Ancylostoma* sp, ovos e larvas de *Ascaris lumbricoides*, ovos de *Taenia* sp e ovos de *Hymenolepis nana*, e cistos de *Giardia lamblia* nas amostras controle. A análise das amostras tratadas com LP a 24 e 48h após a aplicação não indicou a presença de parasitos para todas as dosagens maior que 0ml aqui avaliadas. Contudo, durante a repetição da análise após 50 dias da aplicação, identificou-se a presença de parasitos em amostras tratadas com 10ml. Dessa forma, o LP apresenta potencial anti-helmíntico e promissora alternativa no uso como agente saneante de lodo de esgoto estabilizado, sendo que sua eficiência é função das dosagens aplicadas.

**Palavras-chaves:** licor pirolenhoso, lodo de esgoto, microrganismos patogênicos, potencial anti-helmíntico.

## ABSTRACT

### Use of Pyroligneous Liquor as a Sanitizing Agent in Stabilized Sewage Sludge

Pyroligneous liquor is generated from condensation a part of wood carbonization gases. It consists of a chemical compounds range, such as acid and phenolic substances, and water, who have the highest volume concentration. Studies on the possible pyroligneous liquor uses are emerging in Brazil, mainly those related to antimicrobial properties. In this context, the present study aims to verify the efficiency of pyroligneous liquor as sanitizing for the disinfection of stabilized sewage sludge. The pyroligneous liquor samples was obtained experimentally from three carbonizations of *Eucalyptus dunnii* in circular masonry ovens. Small aliquots were taken directly from the collection tube at four-hour intervals to make the pH analysis. For the experimental treatment, samples were taken from the storage container at 88h from the start of carbonization process and also characterized according to pH. The stabilized sewage sludge samples were collected at the effluent treatment station in Ipiranga-PR, 12 days after discharge into drying beds, and characterized according International Technical Standard 23/2017 (Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater) to determination of total, fixed and volatile solids. The experimental treatment consisted of applying pyroligneous liquor over the sludge samples using different dosages 0ml (control), 10ml, 30ml and 50ml. The treated samples were submitted to microbiological analysis according to the method proposed by Hoffman, Pons and Janer, performed after 24h, 48h and 50 days after the applications. The species identified in the control samples were *Ancylstoma* sp larvae and eggs, *Ascaris lumbricoides* larvae and eggs, *Taenia* sp eggs, *Hymenolepis nana* eggs and *Giardia lamblia* cysts. The sample treated analysis at 24h and 48h after pyroligneous liquor did not indicate the presence of parasites for all dosages greater than 0ml evaluated on this study. However, the analysis results after 50 days application showed the presence of parasites in sample treated with 10ml. Thus, the pyroligneous liquor has anthelmintic potential and could be a promising alternative for use as a sanitizing agent for stabilized sewage sludge. Its efficiency depends on the applied doses.

**Keywords:** pyroligneous liquor, sewage sludge, pathogenic microorganisms, anthelmintic potential.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxo de obtenção e processamento do licor pirolenhoso (GC: gases condensáveis; GNC: gases não condensáveis).....	16
Figura 2. Sistema de condensação dos gases da carbonização instalado em forno convencional.....	19
Figura 3. Fluxograma de um sistema de tratamento de esgoto convencional por lodo ativado. ....	25
Figura 4. Instalação dos tubos coletores aos fornos. ....	32
Figura 5. Preparo das amostras para realização do método proposto.....	36
Figura 6. Imagens de alguns dos parasitos encontrados nas amostras controle: a) ovo de <i>Ascaris</i> ; b) ovo de <i>Ancylostomideo</i> ; c) ovo de <i>Taenia</i> ; d) cisto de <i>Giardia</i> .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Constituintes químicos do licor pirolenhoso analisados por GC-MS.....	17
Tabela 2. Etapas do processo de tratamento do lodo de esgoto. ....	26
Tabela 3. Descrição dos fenômenos pertinentes às fases da carbonização e suas faixas térmicas de ocorrência descritas em literatura.....	38
Tabela 4. Valores médios de pH, desvio padrão (dp) e coeficiente de variação (C.V.) obtidos em relação ao tempo de coleta para os três fornos.....	43
Tabela 5. Número médio de ovos de helmintos e cistos de protozoários, desvio padrão (dp) e quantidade de ovos e cistos por grama de sólidos totais observados em alíquotas de 100µl. ....	46

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Perfis térmicos de carbonização apresentado pelos fornos acompanhados. .....	37
Gráfico 2. Curva pH <i>versus</i> tempo de carbonização segundo amostras coletadas a cada quatro horas para os três fornos. ....	40
Gráfico 3. Relação entre pH e temperatura de coleta <i>versus</i> tempo de carbonização para os três fornos acompanhados. ....	42



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	OBJETIVOS.....	11
1.2	JUSTIFICATIVA.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	O PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA.....	14
2.2	INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA NA COMPOSIÇÃO DO LICOR PIROLENHOSO.....	16
2.2.1	Coleta e Armazenamento do Licor Pirolenhoso.....	18
2.2.2	Compostos Presentes no Licor Pirolenhoso e Seus Efeitos.....	20
2.2.3	Aplicações do Licor Pirolenhoso.....	21
2.3	PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS.....	24
2.4	PROCESSO DE TRATAMENTO DO LODO.....	26
2.4.1	Processo de Higienização do Lodo.....	28
2.4.2	Inviabilização dos Ovos de Helmintos.....	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1	OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE LICOR PIROLENHOSO.....	31
3.2	OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE LODO DE ESGOTO ESTABILIZADO.....	33
3.3	AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE SANITIZANTE DO LICOR PIROLENHOSO.....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1	PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO.....	37
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO LICOR PIROLENHOSO.....	39
4.3	CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO.....	44
4.4	CAPACIDADE SANITIZANTE DO LICOR PIROLENHOSO.....	44
5	CONCLUSÃO.....	48
6	REFERÊNCIAS.....	50

## 1 INTRODUÇÃO

O carvão vegetal é um importante combustível para muitos países, muitas vezes, sendo o único acesso à energia por parte da população. A maior produção e uso per capita é percebida no continente Africano seguida pela região da América Latina e Caribe, onde o carvão vegetal é utilizado para atender a necessidades energéticas básicas, como a cocção de alimentos e aquecimento (FAO, 2017)

Diferente dos demais países produtores, o uso do carvão vegetal no Brasil se destaca dentro da indústria siderúrgica, empregado como agente termorredutor na produção de ferro-gusa e ferroligas, principalmente. Em 2019, foram consumidas pelo setor 5,1 milhões de toneladas de carvão vegetal no país, correspondendo a 12% da produção mundial deste insumo (IBÁ, 2020).

No entanto, a produção de carvão vegetal é caracterizada mundialmente por processos de produção precários com baixos níveis de aproveitamento da biomassa. Há uma preocupação em âmbito global para que seja alcançada uma cadeia de produção mais ecológica e sustentável, relacionada à menor emissão de gases do efeito estufa (FAO, 2017).

No Brasil, o interesse em meios de redução e aproveitamento dos gases da carbonização vem ganhando espaço na literatura. Tecnologias emergentes que proporcionam a combustão destes gases estão em fase de implantação, enquanto que, em menor escala, a condensação dos gases é uma rota consolidada, porém concentrada em pequenos núcleos produtivos (SANTOS, 2017).

Os estudos sobre a combustão dos gases da carbonização se dividem entre o aproveitamento térmico para cogeração de energia elétrica, vinculado a produções industriais (VILELA et al., 2014; PEREIRA et al., 2017; LEME et al., 2018), e ao reaproveitamento térmico dentro do ciclo de carbonização em produções de pequeno e médio porte (OLIVEIRA, 2012). Ambos são eficientes redutores nas emissões de gases do efeito estufa.

O processo de condensação, por outro lado, promove menor emissão gasosa em comparação a processos tradicionais e, principalmente, proporciona a obtenção do licor pirolenhoso (LP) (ENCARNAÇÃO, 2001). Em carbonizações laboratoriais com recuperação de condensado, percebeu-se, em média, rendimentos de 33,6% em gases condensáveis (ALMEIDA, 2012). Ou seja, uma fração representativa de gases

que deixaram de ser lançados para a atmosfera e acarretam o aumento do aproveitamento energético da biomassa.

O LP é um subproduto da carbonização e sua recuperação pode agregar valor à cadeia de produção do carvão vegetal. A partir do seu processamento pode se obter frações de óleos leves, o extrato pirolenhoso (EP), também denominado de líquido ou ácido pirolenhoso, e o alcatrão insolúvel.

O principal foco de estudo é o EP vinculado ao setor agrícola (GREWAL; ABBEY; GUNUPURU, 2018). A grande maioria dos trabalhos existentes na literatura relacionam seu uso a diversos processos de tratamento e cultivo para diferentes culturas (WANDERLEY; DE FARIA; VENTURA, 2012; SCHNITZER et al., 2015; SILVA et al., 2017; ZEFERINO; LIMA; VIEIRA, 2018; MORALES et al., 2019).

Contudo, a caracterização da composição química do LP mostra uma alta concentração de substâncias biologicamente ativas, relacionadas a propriedades antimicrobianas (ALMEIDA, 2012; YANG et al., 2016). Essa característica aumenta suas possibilidades de uso, permitindo sua aplicação como agente saneante, por exemplo.

Nesse contexto, alguns estudos avaliaram sua ação antifúngica (ALMEIDA, 2012; MARTINS, 2017), enquanto que outros avaliaram sua ação antibacteriana (CHAN et al., 2012; CHIAMENTI et al., 2016; JANKOWSKY, 2019; LI et al., 2019; YANG et al., 2016), e constataram eficácia como controlador microbiológico.

Bactérias e outros microrganismos patogênicos são amplamente encontrados em redes de esgoto e representam uma das principais preocupações dentro da gestão de efluentes sanitários. Por sua vez, bactérias e ovos de helmintos são naturalmente mais resistentes, tornando-se indicadores de qualidade no que diz respeito à sanidade do processo (FERON, 2018).

Assim, um dos objetivos almejados por sistemas de tratamento de esgoto é a redução na concentração de patógenos, tanto do efluente tratado, quanto do resíduo gerado (lodo de esgoto) para se assegurar que não haja a contaminação do meio ambiente e a proliferação de doenças (LOPES, 2019).

Processos adicionais ao tratamento de lodo de esgoto que visam sua completa higienização permitem a reciclagem para uso agrícola, por exemplo, dando a este resíduo uma melhor destinação final que os aterros sanitários (SANEPAR, 1999).

Atualmente, a calagem é a prática de higienização consolidada no Brasil. Consiste na aplicação de cal ao lodo que provoca a elevação do pH a níveis que

inviabilizam a sobrevivência de microrganismos. Estudos comprovam a eficiência do processo com aplicações de cal acima de 30%, em média, da massa de lodo em base seca ( MADER NETTO et al., 2003; ALMEIDA et al., 2006; CARVALHO et al., 2017). Contudo, esta prática demanda tempo para que se atinja o efeito requerido e acarreta no aumento de volume do resíduo.

Dentre os estudos de tratamento de efluentes sanitários que visam a higienização do lodo de esgoto, não se encontrou nenhum processo que utilize o licor pirolenhoso como alternativa saneante ao processo. Assim, busca-se com o presente trabalho avaliar a eficiência do licor pirolenhoso na redução de microrganismos patogênicos presentes no lodo de esgoto estabilizado.

## 1.1 OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa podem ser divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Verificar a eficiência do licor pirolenhoso como agente saneante para a higienização do lodo do esgoto estabilizado.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar o licor pirolenhoso
2. Caracterizar o lodo de esgoto estabilizado
3. Avaliar a potencial ação saneante do licor pirolenhoso sobre o lodo estabilizado

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O processo de produção de carvão vegetal é tradicionalmente caracterizado por uma alta emissão de gases do efeito estufa. A busca por alternativas de minimização dessas emissões torna o estudo sobre meios de redução e

reaproveitamento dos gases um assunto emergente no Brasil, especialmente quando vinculados ao LP.

Nesse contexto, proporcionar melhorias tecnológicas no processo de produção que permitam a recuperação e aproveitamento deste subproduto agrega valor à cadeia do carvão vegetal.

Essa prática está em consonância com alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estipulados na Agenda 2030, sendo ODS 7 – Energia Limpa e Acessível; ODS 8 – Trabalho decente e crescimento econômico; ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura; ODS 12 – Consumo e Produção Sustentáveis; e ODS 13 – Ação contra a Mudança do Clima (ONU, 2018).

Embora existam estudos que comprovem a eficiência da aplicação do EP na agricultura, esta ainda é uma prática pouco difundida no Brasil. Para a aplicação direta ao solo e plantas é requerida a decantação ou destilação do condensado a fim de que sejam eliminados quaisquer compostos que possam ser prejudiciais à saúde. Isto, junto à falta de um mercado consumidor consolidado dificultam a comercialização deste subproduto.

Contudo, dada as características da composição química do LP, a aplicação como agente saneante em diferentes meios pode tornar-se uma possibilidade viável e financeiramente mais atrativa.

No presente estudo é proposto a aplicação do LP bruto, ou seja, sem tratamentos. A não necessidade de um processo de destilação não acarreta custos adicionais e facilita a aceitação do LP como produto.

Ainda, o acesso ao saneamento básico é um direito de todo cidadão brasileiro e tem diretrizes estabelecidas de acordo com a Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007a). Entretanto, em 2018 apenas 53,2% da população brasileira era assistida por sistemas de esgotamento sanitário, enquanto que apenas 46,3% do esgoto coletado teve tratamento adequado (SNIS, 2018).

No Brasil, no ano de 2013 foram geradas aproximadamente 9,1 mil toneladas de esgoto por dia, onde apenas 3,9 mil toneladas foram enviadas para o tratamento coletivo (ANA, 2017). Para o ano de 2035, há um crescimento populacional previsto de 17,7% que acarretará em uma ainda maior demanda por serviços sanitários no país (ANA, 2017) e, conseqüentemente, maior geração de lodo de esgoto.

Dessa forma, será requerida a maior atenção sobre a destinação e disposição final do resíduo. Embora as atuais práticas de higienização do lodo sejam eficientes, existem pontos onerosos ao processo, como o aumento em volume do resíduo e o longo tempo de tratamento, por exemplo. Desenvolver alternativas saneantes viáveis e eficazes são pontos de grande interesse à saúde pública.

Tendo o exposto em mente, conciliar a aplicação do LP ao lodo de esgoto acarreta no desenvolvimento de um novo método sanitizante para a higienização deste resíduo. Ainda, validar uma aplicação viável ao LP com grande potencial comerciável consolida sua recuperação como subproduto da carbonização e aumenta a fonte de renda dos produtores de carvão vegetal, além de proporcionar a redução de emissões gasosas em comparação a processos tradicionais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA

O processo de carbonização está intrinsicamente relacionado à degradação térmica dos principais componentes da madeira, que são a hemicelulose, celulose e lignina. As diferentes características químicas destes componentes e seus comportamentos frente ao aquecimento caracterizam o processo, bem como os produtos obtidos.

Segundo Yang et al. (2007), as hemiceluloses são as mais suscetíveis a sofrerem decomposição com o aumento de temperatura (220-315°C), pois são moléculas constituídas por ligações químicas simples e de fácil ruptura. As celulosas possuem maior estabilidade (315-400°C), justificada por estruturas moleculares mais densas e ordenadas (YANG et al., 2007).

A degradação térmica de ambas gera o desprendimento dos materiais voláteis presentes na madeira e resulta em significativas perdas de massa. A faixa térmica de maior desprendimento acontece a temperaturas entre 200-400°C e 300-450°C, para hemiceluloses e celulosas, respectivamente, e resulta principalmente na formação dos gases condensáveis, ricos em compostos orgânicos, além de uma importante parcela de gases não condensáveis (YANG et al., 2007).

A lignina é o componente da madeira mais estável termicamente. Embora reaja à temperatura durante todo o processo de carbonização (150-900°C), apresenta uma sutil degradação térmica com perdas de massa consideravelmente baixas (YANG et al., 2007). É constituída por uma estrutura molecular mais complexa e possui uma alta porcentagem de carbono elementar em sua composição, de forma a tornar-se a principal responsável pela formação do carvão vegetal (SANTOS et al., 2016). Sua degradação resulta na maior emissão dos gases CO (monóxido de carbono), CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), H<sub>2</sub> (hidrogênio) e CH<sub>4</sub> (metano) liberados durante o processo, considerados gases poluentes (YANG et al., 2007).

O teor de lignina está diretamente relacionado à densidade básica da madeira. Espécies que possuem mais lignina em sua composição tendem a ser mais densas e apresentar maior rendimento gravimétrico em carvão vegetal (MEDEIROS, 2018).

Assim sendo, a densidade básica é um dos principais critérios de seleção para a escolha da matéria prima quando se objetiva a qualidade na produção de carvão

vegetal (PEREIRA et al., 2016), pois quanto maior for sua densidade, maior será o rendimento percentual deste produto.

Por outro lado, madeiras que apresentam alto teor de hemiceluloses e celuloses tendem a ser menos densas e de mais fácil degradação, propiciando a formação de gases durante o processo e diminuindo o rendimento em carvão vegetal (SANTOS et al., 2016; MEDEIROS, 2018). Dessa forma, a relação entre o rendimento em carvão é inversamente proporcional ao rendimento em gases, pois quanto maior for a formação de carvão menor será a emissão gasosa gerada pelo processo.

Assim como a temperatura de carbonização, a taxa de aquecimento a que o processo é submetido também exerce influência sobre os produtos gerados. Isso porque a taxa de aquecimento determina a velocidade de carbonização da madeira e o tempo de residência em cada fase do processo.

Em baixas taxas de aquecimento, a permanência em determinada faixa de temperatura é maior e as reações químicas pertinentes à fase em questão tem mais tempo de ocorrer. Isso aumenta a taxa de decomposição térmica da madeira e eleva a fixação de carbono na fração sólida de produto, aumentando conseqüentemente o rendimento gravimétrico em carvão vegetal. Tal fato é possível devido à permanência dos gases recém-formados no interior dos fornos que propiciam a ocorrência de reações de decomposição secundária. Quando a taxa de aquecimento é maior a velocidade de saída desses gases aumenta, diminuindo seu tempo de permanência no processo e a probabilidade de ocorrência das reações secundárias (SIEBENEICHLER et al., 2017).

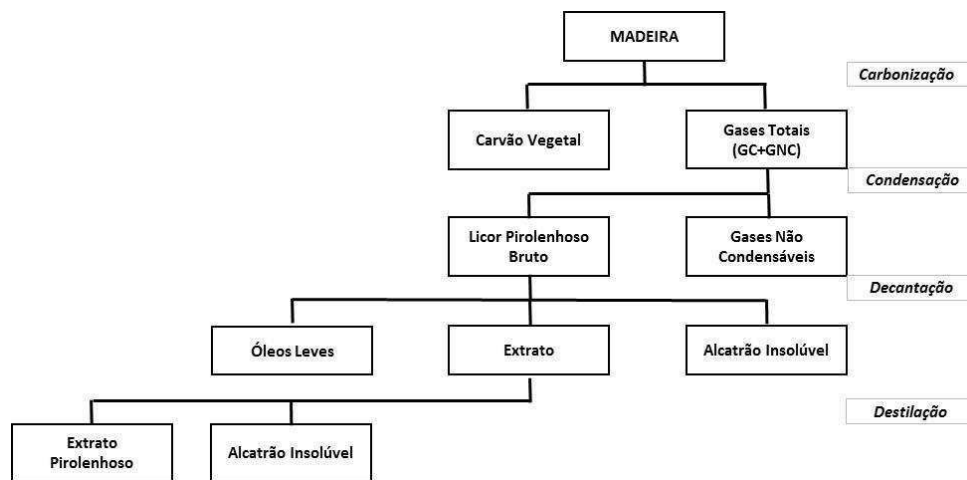
Sendo assim, a carbonização pode acontecer de forma rápida, se utilizadas elevadas taxas de aquecimento, ou lenta, com aumento gradativo e controlado da temperatura. A velocidade em que o processo acontece determina o percentual de rendimento dos produtos gerados, uma vez que a taxa de aquecimento é inversamente proporcional ao rendimento em carvão vegetal e diretamente proporcional ao rendimento em gases (MEDEIROS, 2018). Ou seja, uma carbonização realizada em altas taxas de aquecimento gera um menor rendimento em carvão vegetal e maior emissão gasosa.

Ter ciência sobre os fatores que influenciam a carbonização permite que se manipule o processo a fim de obter resultados específicos alinhados aos objetivos almejados, como o maior rendimento em carvão e menor emissão de gases poluentes, por exemplo.



## 2.2 INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA NA COMPOSIÇÃO DO LICOR PIROLENHOSO

Considerando que no processamento do LP se obtém frações de óleos leves, EP e alcatrão insolúvel, a Figura 1 mostra o fluxo de obtenção e processamento do LP, conforme tratamento aplicado.



**Figura 1.** Fluxo de obtenção e processamento do licor pirolenhoso (GC: gases condensáveis; GNC: gases não condensáveis).

**FONTE:** Adaptado de Miyasaka et al., 1999 e Miyasaka, 2001

A formação do LP ocorre principalmente devido à degradação térmica das hemiceluloses e celulosas que causa o desprendimento dos materiais voláteis presentes na madeira. Resulta na formação de diversos compostos que são expelidos na forma de gases condensáveis e não condensáveis.

A eliminação dos gases da carbonização se inicia após a fase de secagem da madeira, atinge um pico máximo de emissão – onde é esperada a maior formação da parte condensável, o licor pirolenhoso (LP) – e com o aumento da temperatura tende a se estabilizar (CANAL et al., 2016).

De acordo com Siebenechler et al. (2017), a formação de LP pode ocorrer até temperaturas próximas aos 400-450°C. Porém, durante as fases finais da carbonização não são observados incrementos significativos na emissão de gases condensáveis, restando apenas a formação de gases não condensáveis derivados principalmente da decomposição da lignina (CANAL et al., 2016).

Há um comportamento crescente de conversão da madeira em gases condensáveis frente ao aumento da velocidade de carbonização, de modo que a taxa de aquecimento influencia positivamente o rendimento em LP (SIEBENEICHLER et al., 2017; MEDEIROS, 2018). Com a mesma relevância, a taxa de aquecimento também interfere na composição química do líquido condensado, pois altera as reações que ocorrem durante o processo e influencia a formação e quantidade dos componentes que o constituem (SIEBENEICHLER et al., 2017). Isso ocorre em razão da sensibilidade térmica que cada componente possui (WU et al., 2015).

Como demonstrado em estudos cromatográficos, em diferentes taxas de aquecimento são observadas diferentes intensidades nos picos que representam os compostos orgânicos. Este fato é resultado da variação em concentração, podendo implicar em alterações na composição final do produto (MEDEIROS, 2018).

A composição química final do LP também sofre influência das características da madeira de origem, uma vez que podem haver variações na formação e concentração de determinados compostos quando analisados produtos oriundos de diferentes biomassas. Entretanto, o LP é formado basicamente por componentes orgânicos pertencentes aos grupos de ácidos, fenóis, cetonas, aldeídos, álcoois e ésteres (WU et al., 2015; MEDEIROS, 2018; PIMENTA et al., 2018; MORALES et al., 2019), sendo que os ácidos e fenóis são os compostos de maior presença.

Por meio da análise cromatográfica, Yang et al. (2016) identificaram a formação de 17 (dezessete) compostos principais em amostras de LP proveniente de *Litchi chinensis* coletado entre a faixa de temperatura de 100 a 600°C. Os compostos identificados estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Constituintes químicos do licor pirolenhoso analisados por GC-MS

No.	Nome do Composto	Fórmula Molecular	Peso Molecular	% Área
1	2-metil-piridina	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	93.06	0.23
2	Fenol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	94.04	2.03
3	3-metil-1,2-ciclopentanodiona	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	112.05	2.65
4	2-metilfenol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108.06	1.54
5	2-metoxifenol (Guaiacol)	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	124.05	12.36
6	Maltol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	126.03	1.02
7	3-etil-2-hidroxi-2-ciclopentan-1-ona	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	126.07	0.74
8	Creosol	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	138.07	3.15
9	Catecol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	110.04	5.17
10	3-metoxi-1,2-benzenodiol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	140.05	6.12
11	4-etil-2-metoxifenol	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	152.08	3.09
12	4-metil-1,2-benzenodiol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	124.05	1.66
13	2,6-dimetoxifenol (Siringol)	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	154.06	29.54
14	3,4-dimetoxifenol	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	154.06	0.93

15	3,5-dimetoxi-4-hidroxitolueno	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	168.08	11.07
16	1-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-2-propanona	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	180.08	1.10
17	1-(4-hidroxi-3,5-dimetoxifenil)-etanona	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	196.07	1.59

**FONTE:** Adaptado de (YANG et al., 2016).

Os compostos identificados por Yang et al. (2016) estão concomitantes com a literatura. Em sua maioria, são compostos fenólicos obtidos da condensação dos gases gerados em carbonização com temperatura final de 600°C.

A formação de compostos fenólicos é propiciada com a elevação da temperatura de carbonização (WU et al., 2015; ORAMAHI et al., 2018). Isso porque são compostos formados a partir da decomposição térmica da lignina, componente da madeira de maior estabilidade térmica. Assim, os fenóis têm concentração intensificada quando a temperatura de carbonização é maior (YANG et al., 2016).

Por outro lado, a presença de compostos ácidos no LP é maior em processos que adotam uma temperatura de coleta mais amena. A formação destes compostos é favorecida em temperaturas de carbonização próximas aos 250°C. Após essa faixa térmica, sua formação tende a diminuir (WU et al., 2015; ORAMAHI et al., 2018).

Dessa forma, a temperatura de coleta determina a formação da composição química do LP, sendo que quando coletado em altas temperaturas os principais compostos formados serão em sua maioria compostos fenólicos (MEDEIROS, 2018; PIMENTA et al., 2018; MORALES et al., 2019).

Essa característica – em conjunto com a presença de outros grupos orgânicos – atribui ao LP uma potencial ação saneante, visto que aos compostos fenólicos são relacionadas propriedades antimicrobianas, especialmente às substâncias 2,6-dimetoxifenol (Siringol), 2-metoxifenol (Guaiacol) e 3,5-dimetoxi-4-hidroxitolueno identificados por Yang et al. (2016).

Proporcionar modificações no processo de carbonização e utilizar variações da temperatura de coleta são fatores que possibilitam a formação do LP com diferentes composições químicas, o que oportuniza o seu uso para diversificados e determinados fins.

### 2.2.1 Coleta e Armazenamento do Licor Pirolenhoso

O processo de coleta do LP é bastante simples e pode ser adaptado a basicamente todos os tipos de fornos. O sistema consiste na instalação de um tubo coletor no ponto de saída dos gases – a chaminé – e um recipiente para o

armazenamento do líquido gerado. A condensação acontece de forma natural por meio da troca de calor entre o tubo coletor e o meio ambiente, causando o resfriamento dos gases e a formação da fração líquida. Esta, por sua vez, escorre pelo comprimento do tubo até uma pequena abertura próxima à base por onde é coletada, como mostra a Figura 2.



**Figura 2.** Sistema de condensação dos gases da carbonização instalado em forno convencional

**FONTE:** Extraído de Campos, 2018

Como descrito na Figura 2, o tubo deve ser longo o suficiente para que proporcione uma boa área de troca térmica e ocorra uma maior condensação dos gases, aumentando assim a eficiência do processo. Estima-se um comprimento ideal de aproximadamente 8 a 9 metros (CAMPOS, 2007; GONÇALVES et al., 2010).

A angulação e posição em que é acoplado aos fornos também exerce influência no processo. O ângulo de 30° facilita a saída dos gases, enquanto que o tubo localizado próximo à base dos fornos garante que a temperatura permaneça baixa em seu interior por um maior período de tempo (GONÇALVES et al., 2010). Os polímeros são os materiais utilizados devido ao custo-benefício que apresentam.

Segundo Campos (2018a), para que seja assegurada a qualidade do produto, a coleta do LP deve ocorrer à baixas temperaturas. A autora sugere que se utilize a faixa térmica de 80 a 150°C, pois afirma que temperaturas superiores possibilitam a

formação de compostos tóxicos, enquanto que temperaturas inferiores resultam em um produto muito diluído devido à alta concentração de vapor d'água gerado durante a fase inicial de secagem da madeira.

Sendo assim, para ser comercializado como produto orgânico com a certificação da APAN (Associação dos Produtores de Agricultura Natural) que garante a qualidade e a segurança à saúde e ao meio ambiente, estabeleceu-se em norma que o LP deve ser coletado na faixa térmica de 80 a 120°C quando visado o uso agrícola, com aplicação direta em solos e plantas (APAN, 2013).

Entretanto, o produto obtido a estas temperaturas possui uma quantidade consideravelmente menor de compostos químicos do que quando obtido em temperaturas mais altas, próximas à fase final de carbonização. Os compostos que deixam de ser condensados são pertencentes, principalmente, ao grupo fenólico, responsável pelo potencial antimicrobiano atribuído ao LP (ALMEIDA, 2012). Assim, tomados os devidos cuidados, a temperatura de coleta é determinada de acordo com o interesse que se tem sobre o condensado.

### 2.2.2 Compostos Presentes no Licor Pirolenhoso e Seus Efeitos

Uma preocupação recorrente que impede a disseminação do uso do LP está relacionada aos efeitos negativos que este, possivelmente, possa causar à saúde e ao meio ambiente. As altas temperaturas alcançadas no processo de pirólise proporcionam a ocorrência de reações químicas que levam à produção de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs), compostos considerados mutagênicos e carcinogênicos (CAMPOS, 2018b).

Atualmente são utilizados diferentes processos de purificação (como a decantação e/ou destilação do LP bruto) com o intuito de remoção destes compostos, comumente presentes no alcatrão insolúvel pertencente à fração condensada.

Contudo, Pimenta et al. (2000) afirmam que a grande maioria dos compostos HPAs formados durante a carbonização são eliminados junto à fração não condensável dos gases ou permanecem ligados ao alcatrão remanescente nos fornos durante a carbonização. Ainda, as concentrações de HPAs presentes no EP estudadas por Morales et al. (2019) permaneceram abaixo da concentração estipulada para proteção da saúde e meio ambiente, portanto, não apresentam riscos.

Por outro lado, outros compostos podem ser considerados prejudiciais à saúde. No estudo de Pimenta et al. (2018), os autores alertam sobre a presença de N-nitrosodimetilamina e compostos fenólicos. A N-nitrosodimetilamina, quando ingerida, pode induzir a formação de tumores em seres humanos, enquanto que o fenol possui suspeitos potenciais mutagênicos (PIMENTA et al., 2018).

Não há uma concentração específica que permita classificar substâncias potencialmente cancerígenas como não prejudiciais. Portanto, é necessário a atenção em relação à presença destes componentes na composição do LP, mesmo quando diluído.

### 2.2.3 Aplicações do Licor Pirolenhoso

O LP é um produto líquido proveniente da condensação da fumaça gerada durante o processo de carbonização, sendo a mistura de diversos compostos químicos condensáveis extraídos com a decomposição térmica da madeira. Pode apresentar variações significativas em sua composição final em função dos diferentes tipos de biomassa utilizada e formas de carbonização e coleta a que foi submetido.

Esse fato permite que, com a manipulação do processo, se tenha um produto com diferentes características. Quando coletado a baixas temperaturas o LP é rico em compostos ácidos, enquanto que quando coletado a temperaturas superiores apresenta um elevado teor de compostos fenólicos (ALMEIDA, 2012; YANG et al., 2016). Dessa forma, possui um leque amplo e variado de possíveis aplicações.

Pode ser empregado no setor agrícola atuando principalmente como adubo orgânico e/ou potencializador da absorção de nutrientes, bem como na indústria alimentícia, usado como aromatizante, conservante e/ou aditivo alimentar, por exemplo (CAMPOS, 2018b; GREWAL; ABBEY; GUNUPURU, 2018). Para tanto, deve-se utilizar o EP purificado coletado a baixas temperaturas (APAN, 2013).

Em relação ao uso como aditivo alimentar, o EP tem eficiência comprovada na melhor conversão alimentar além de ação bactericida contra alguns coliformes que ocorrem no trato gastrointestinal de animais (CHEMANE, 2018; DIÓGENES, 2017; NUNES, 2019; WANG et al., 2012).

Outra alternativa de aplicação que vem se mostrando bastante relevante está relacionada à atividade antimicrobiana que o LP apresenta, pois possui em sua

composição diferentes substâncias biologicamente ativas capazes de inibir ou controlar a proliferação de microrganismos indesejados (DE SOUZA et al., 2018; JANKOWSKY, 2019).

A formação de compostos fenólicos é favorecida com o aumento da temperatura, de modo que a coleta do LP quando realizada a altas temperaturas origina um produto com maior potencial saneante (ALMEIDA, 2012). Isso ocorre porque a maior concentração de compostos fenólicos provoca a redução do pH do condensado, fator que intensifica a atividade antimicrobiana.

Dentre os vários tipos de microrganismos existentes, os estudos sobre a aplicação do LP (bruto), bem como do EP (destilado), geralmente visam os fungos e bactérias. Nesse contexto, é constatado o amplo espectro antifúngico e antibacteriano contra diferentes espécies, principalmente as patogênicas (CHEMANE, 2018). Tem capacidade de interferir no crescimento microbiológico de determinados sistemas, podendo ser utilizado como agente controlador de proliferações prejudiciais (MORALES et al., 2019). A sua dosagem é definida segundo a finalidade e o controle que se almeja.

Almeida (2012) avaliou o potencial antifúngico do LP de diferentes origens sobre o fungo *Aspergillus niger* (ATCC 16404), comumente utilizado em avaliações de cosméticos e saneantes. Constatou que o LP produzido em escala laboratorial coletado a temperaturas de até 400°C teve os melhores resultados, sendo bioativas a maioria das frações identificadas. A concentração inibitória mínima (CIM) foi de 30µL/2ml. Segundo a autora, os principais potenciais ativos que caracterizam as propriedades antifúngicas são relacionados às seguintes substâncias: corilon, mequinol, 2-metoxi 4-metifenol, 4-etil 2-metoxifenol, 2,6-dimetoxifenol, 1,2,4-trimetoxibenzeno e 5-tert-butilpirogallol.

Ao analisar o potencial inibidor nas culturas fúngicas de *Trametes versicolor* e *Neolentinus lepideus*, causadores da podridão branca e podridão parda da madeira, respectivamente, Martins (2017) testou diferentes concentrações do LP obtido em carbonização laboratorial com temperatura máxima de 450°C de árvores Uva-do-Japão.

Como resultado, comprovou a eficácia do efeito fungicida a baixíssimas concentrações, sendo que para o fungo causador da podridão branca, a 0,5% o LP dificultou o desenvolvimento das culturas e causou a inibição total quando mais

concentrado, enquanto que para o fungo causador da podridão parda, o LP teve ação inibitória em todas as concentrações aplicadas quando maiores que zero.

Para avaliar a atividade antibacteriana de amostras de LP (bruto) e EP (destilado), Chan et al. (2012) testaram colônias de bactérias gram-positivas (*Bacillus cereus*, *Micrococcus luteus* e *Staphylococcus aureus*), e gram-negativas (*Escherichia coli*, *Salmonella typhi* e *Pseudomonas aeruginosa*). Todas as bactérias testadas tiveram seu crescimento inibido. Contudo, bactérias gram-negativas são menos suscetíveis, de modo que os melhores resultados foram obtidos quando aplicado LP, produto não destilado.

No estudo de Jankowsky (2019) o objetivo foi avaliar o potencial antimicrobiano do EP obtido em carbonização laboratorial de espécies de bambu a 250°C, 350°C e 550°C. A extração líquido-líquido do EP puro utilizando metanol e hexano permitiu a obtenção de frações com polaridades diferentes (FMeOH e FHex, respectivamente), confirmadas por cromatografia de camada delgada. Foi tida a fração metanólica FMeOH coletada a 350°C como a fração com melhor eficiência e consistência quando testado seu potencial antimicrobiano para as bactérias *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*.

Segundo a autora, esta fração causa uma série de alterações estruturais na parede celular de ambas as bactérias inibindo o crescimento, de forma a permitir sua aplicabilidade em sistemas conservantes de diversas áreas, como saneantes.

O LP obtido a partir de Acácia Negra em produção industrial também se mostrou eficaz como inibidor de crescimento bacteriano sobre *Escherichia coli*, com concentração inibitória mínima (CIM) de 3,125% conforme o estudo de padronização por macro diluição em caldo realizado por Chiamenti et al. (2016).

Quando aplicado nesta proporção à fezes suínas frescas, proporcionou a redução gradativa em um intervalo de 24h da carga bacteriana das colônias de *E.coli* e *Proteus sp* presentes nos dejetos, proporcionando um controle eficaz e não agressivo ao meio ambiente. Porém, a curva de redução encontrada não foi uma curva linear, provavelmente devido ao efeito bacteriostático (inibitório) e não bactericida do LP nesta concentração.

Dessa forma, constata-se a eficiente e eficaz atividade antimicrobiana do extrato pirolenhoso coletado à altas temperaturas, o que categoriza seu uso como agente saneante em uma alternativa promissora.

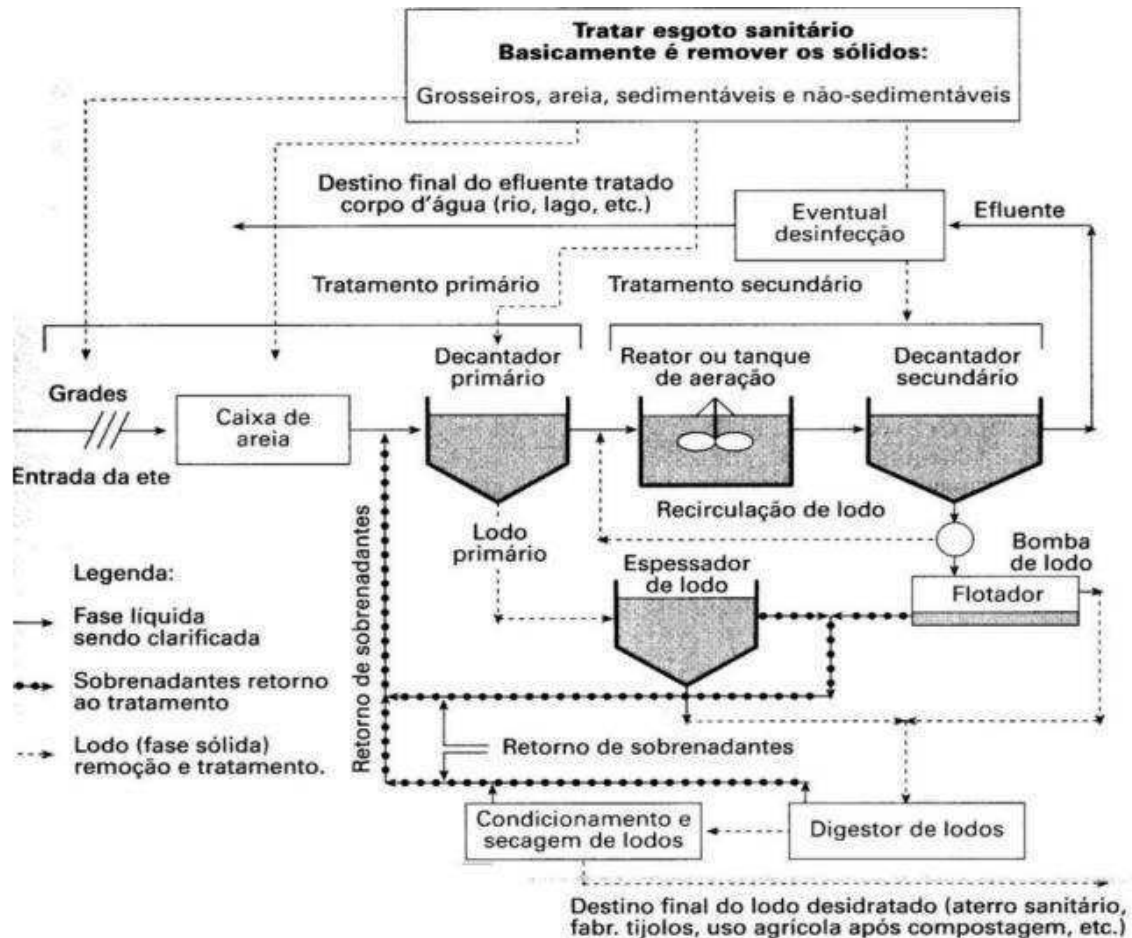


## 2.3 PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

O esgotamento sanitário é caracterizado pela coleta e tratamento de esgoto que promove a gestão de efluentes domésticos e industriais nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Tem por objetivo devolver ao meio ambiente um efluente líquido de melhor qualidade e proporcionar a correta gestão dos resíduos sólidos gerados no processo (BARBOSA, 2018; FERON, 2018).

Os processos de tratamento de esgoto consistem na separação sólido-líquido do efluente bruto por meio de procedimentos físicos, químicos e biológicos que resultam na concentração e remoção da matéria orgânica e demais poluentes (SANEPAR, 1999; DAVID, 2002). Estes processos geralmente apresentam variações entre as ETEs, de modo a particularizar o sistema e caracterizar os diferentes tipos de tratamento existentes.

Entretanto, a gestão do efluente acontece basicamente em duas etapas: se inicia com o tratamento primário que faz uso de operações unitárias para a remoção dos sólidos grosseiros, areia e sólidos sedimentáveis; seguido pelo tratamento secundário que emprega processos biológicos capazes de realizar a filtração e estabilização biológica do sistema (FERON, 2018). Os principais processos biológicos adotados para o tratamento secundário são lodo ativado, lagoas de estabilização, filtro biológico e reator UASB (BARBOSA, 2018). Ainda, em alguns casos pode se proceder o tratamento terciário onde são utilizados produtos químicos em busca de uma melhor qualidade do efluente tratado. A Figura 3 representa o fluxograma de um processo de tratamento de esgoto convencional.



**Figura 3.** Fluxograma de um sistema de tratamento de esgoto convencional por lodo ativado.

**FONTE:** Extraído de Nuvolari, (2011).

Todos os tipos de tratamento de esgoto resultam em uma fração líquida e outra semissólida. A fração líquida é o efluente tratado que passa a ter um grau de pureza adequado e pode retornar ao meio ambiente sendo lançado em seu corpo receptor. A fração semissólida corresponde ao lodo de esgoto (SANEPAR, 1999; DAVID, 2002).

O lodo de esgoto é uma mistura heterogênea complexa, rica em matéria orgânica, inorgânica e microrganismos. Sua composição e formação são diretamente influenciadas em função da origem do esgoto e dos sistemas de tratamento adotados pelas ETEs. É considerado um resíduo sólido, e como tal, é necessário que se faça a sua correta disposição final. Para tanto, deve ser submetido a procedimentos que buscam sua redução em volume e uma condição sanitária adequada para que não se torne veiculador de doenças (LOPES, 2019).

A escolha do melhor sistema de tratamento de esgoto cabe às companhias de saneamento que devem levar em consideração as peculiaridades de cada região, como a demanda da população, os meios viáveis disponíveis para estabilização da

matéria orgânica e o possível reuso ou destinação final que se dará ao resíduo (FERON, 2018).

## 2.4 PROCESSO DE TRATAMENTO DO LODO

Como já mencionado, o lodo de esgoto é o resíduo gerado durante o processo de tratamento de esgoto. Pode ser obtido por meio de diferentes procedimentos, sendo que a técnica adotada interfere diretamente na quantidade e qualidade de lodo produzido.

O tratamento do lodo de esgoto consiste em processos que objetivam alcançar sua estabilidade biológica. Pode ser dividido em quatro etapas principais que acontecem concomitantes ao tratamento de esgoto, conforme descrito na Tabela 2. Via de regra, estas etapas obedecem a ordem de adensamento, estabilização, condicionamento e desidratação (DAVID, 2002; LOPES, 2019). Porém, da mesma forma, os processos para tratamento do lodo também podem apresentar variações significativas, a contar com mais ou menos etapas bem como diferentes tipos de procedimentos adotados.

**Tabela 2.** Etapas do processo de tratamento do lodo de esgoto.

TRATAMENTO	OBJETIVO	MÉTODOS
Adensamento	Reduzir a quantidade de água presente	Gravidade, flotação, ar dissolvido, centrifugação, adensador de esteira, tambor rotativo.
Condicionamento	Melhorar a separação das fases sólido-líquido por meio da floculação (agregação) das partículas.	Aplicação de compostos inorgânicos e/ou polímeros.
Desaguamento	Separar o material sólido da fração líquida.	Secagem natural: leitos e lagoas de secagem. Secagem mecânica: filtro prensa, prensa desaguadora e rotativa, centrífuga, entre outros.
Estabilização Biológica	Minimizar os microrganismos patogênicos e eliminar, reduzir ou inibir o potencial de putrefação do lodo.	Compostagem, estabilização alcalina, digestão aeróbia, digestão anaeróbia.

**FONTE:** Adaptado de (LOPES, 2019)

A estabilização do lodo é uma das, se não a mais importante etapa no tratamento da fração sólida. Isso porque tem por finalidade a redução na carga de microrganismos patogênicos, bem como a diminuição do potencial de putrefação e geração de odores.

As formas mais usuais de estabilização compreendem processos biológicos, químicos ou tratamentos térmicos. No entanto, os processos biológicos são os mais difundidos devido principalmente à sua eficiência e baixo custo. Consistem na decomposição da matéria orgânica de moléculas complexas à compostos mais simples pela ação metabólica dos microrganismos presentes no lodo.

Estes processos podem ser classificados como aeróbios, quando há oxigênio disponível, ou anaeróbios, na ausência do mesmo. Segundo David (2002), na digestão aeróbia “ocorre a oxidação direta da matéria orgânica biodegradável e consequente aumento da biomassa bacteriana, com posterior oxidação do material microbiano celular pelos próprios microrganismos”.

Já em processos de digestão anaeróbios, a ausência do oxigênio faz com que os microrganismos se utilizem da matéria orgânica biodegradável para realizarem sua ação metabólica. Resultam em lodo, formação de compostos mineralizados e liberação de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e CH<sub>4</sub> (metano) (LOPES, 2019).

Embora a digestão anaeróbia seja menos eficiente que a aeróbia em relação à redução da DBO (demanda bioquímica de oxigênio), é usualmente mais escolhida devido a menor quantidade de lodo gerada e os menores custos de investimento e operação (ANA, 2017). Contudo, podem necessitar de processos adicionais para remoção de eventuais microrganismos patogênicos restantes (SANEPAR, 1999).

A disposição final do lodo de esgoto já estabilizado pode acontecer em aterros sanitários, por incineração ou reciclagem. O método a ser escolhido deve ser analisado criteriosamente pensando na prática mais viável técnica, econômica e ambientalmente.

Dentre as alternativas de reciclagem, o uso do lodo na agricultura é uma prática consolidada no Brasil. Atua como corretor de solo em áreas degradadas e age como fertilizante devido à carga de nutrientes que possui. Porém, seu uso é restrito e deve seguir as diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA n°375/2006 por também conter metais pesados, compostos orgânicos persistentes e organismos patogênicos em sua composição (BRASIL, 2006).

A estabilidade do lodo é fundamental para qualquer forma de destinação ou disposição final deste resíduo. Contudo, quando pretendido seu reuso agrícola, a sanidade do lodo deve atender uma série de especificações que regulam sua aplicação (LOPES, 2019).

#### 2.4.1 Processo de Higienização do Lodo

Os processos de higienização do lodo de esgoto têm por objetivo a eliminação de microrganismos patogênicos residuais que possam eventualmente estar presentes na biomassa, a fim de extinguir seu potencial contaminante. Sendo assim, a necessidade e rigorosidade da desinfecção está relacionada a destinação final do resíduo.

Os métodos de higienização consistem em alterações químicas e físicas do lodo. A variação em determinados fatores como temperatura e pH, principalmente, são capazes de transformar o meio e causar desequilíbrio no sistema, ocasionando a destruição dos microrganismos. Ainda, “a intensidade e o tempo em que esses fatores são impostos à massa de lodo determinam a eficiência da desinfecção” (SANEPAR, 1999).

Nesse contexto, a compostagem é uma alternativa. É também um processo biológico de decomposição da matéria orgânica em que os microrganismos promovem a degradação do lodo por meio de reações exotérmicas, ou seja, com liberação de calor. O aumento da temperatura em leiras de compostagem pode atingir níveis suficientes para provocar a destruição térmica dos microrganismos.

Dessa forma, é imprescindível manter um controle rigoroso em relação a temperatura, umidade e aeração do sistema (FERON, 2018). Deve-se manter a temperatura de 60°C por determinados períodos de tempo para que até os microrganismos mais resistentes sejam eliminados (SANEPAR, 1999). Entretanto, o frequente revolvimento das leiras de compostagem pode estender-se por tempos consideravelmente longos e desprende demasiado trabalho.

Outra alternativa de higienização já consolidada, é a calagem. Consiste na adição de cal ao lodo, que, ao entrar em contato com a água presente, resulta em reações exotérmicas e promove o aumento da temperatura (SANEPAR, 1999).

O processo de calagem é caracterizado por ser de baixo custo e fácil aplicabilidade. Sua eficiência é dada em relação a proporção cal/lodo utilizada e ao teor de umidade do lodo, pois são estes fatores que garantirão a elevação da temperatura (SANEPAR, 1999).

A adição de cal promove ainda a elevação do pH da mistura a níveis que inviabilizam a sobrevivência dos microrganismos. Entretanto, os efeitos observados em relação ao pH e o tempo de estabilização são diretamente influenciados pela

concentração de cal utilizada (MADER NETTO et al., 2003). É necessário que a mistura esteja em exposição a pH acima de 12 por no mínimo 2h, sendo que quanto maior a adição de cal maior será o pH atingido (DAVID, 2002).

Dessa forma, a sanidade do lodo de esgoto é caracterizada segundo a quantidade de agentes patogênicos presente.

#### 2.4.2 Inviabilização dos Ovos de Helmintos

Microrganismos patogênicos, de acordo com Pedroza et al. (2019), são microrganismos capazes de “se multiplicar no organismo hospedeiro e causar infecções e outras complicações”. Os principais grupos de agentes patogênicos encontrados no lodo de esgoto são os helmintos, protozoários, bactérias, fungos e alguns vírus (SANEPAR, 1999).

No entanto, helmintos e bactérias são os microrganismos que apresentam o maior risco à saúde. Os ovos de helmintos são bastante resistentes aos métodos de desinfecção e tem ainda seu embrionamento propiciado com as condições obtidas em tratamentos de esgoto; enquanto que as bactérias são facilmente reproduzidas nesse meio e de fácil contaminação (PEDROZA et al., 2019). Portanto, a contagem dos microrganismos pertencentes a estes grupos são parâmetros de avaliação para determinar a eficácia na desinfecção do lodo de esgoto, pois “uma vez realizado o controle desses patógenos, os demais estarão automaticamente a níveis admissíveis” (FERON, 2018).

Os ovos de helmintos são conhecidos por sua alta resistência a condições externas adversas. Tal característica é resultado da estrutura genética que apresentam, pois os ovos da maioria dos helmintos são envoltos por uma casca protetora composta por três camadas distintas (WHARTON, 1983). Essa casca é uma eficiente barreira contra o efeito de mudanças físicas e químicas. Entretanto, a inatividade dos ovos de helmintos pode ser atingida com diferentes condições de temperatura, pH, teor de umidade e tempo de contato (MAYA et al., 2012).

Avaliando os efeitos causados pelo uso de cal em sua forma virgem (CaO) e hidratada (Ca(OH)<sub>2</sub>) aplicada diretamente às amostras de lodo de esgoto, Passamani, Keller e Gonçalves (2002) atingiram a inviabilização de 100% dos ovos de helmintos com um tempo de exposição de 24h em todas as concentrações aplicadas (30%, 40%, 50% e 60% em peso de lodo seco). Rossemann et al. (2014) ao aplicar cal hidratada

ao lodo de esgoto doméstico, obtiveram a redução na viabilidade dos ovos de helmintos de 93,75% e 99,32% após exposição de 2h em 40kg.m<sup>-3</sup> e 72h em 71,2kg.m<sup>-3</sup>, respectivamente.

Estudos anteriores relacionam a ação anti-helmíntica ao uso de extratos naturais para o controle de parasitoses gastrointestinais em animais ( OLIVEIRA, 2013; MOLAN, 2014; WILLIAMS et al., 2014; BAUNGRATZ, 2019). Extratos naturais apresentam diferentes propriedades farmacológicas atribuídas a sua composição química, majoritariamente formada por compostos fenólicos e flavonoides (BAUNGRATZ, 2019).

Os taninos são um exemplo de compostos poli fenólicos que atuam sobre ovos e larvas de helmintos. Tem a capacidade de interação com as proteínas presentes na casca e cutícula dos nematoides, de modo a interferir na motilidade e alimentação dos vermes e dificultar o processo de respiração celular (WILLIAMS et al., 2014).

Segundo Molan (2014), a aplicação de taninos concentrados a 200µg.ml<sup>-1</sup> é capaz de proporcionar a completa inibição do desenvolvimento larval em nematoides das espécies *Trichostrongylus colubriformis* e *Teladorsagia circumcincta*. Porém, o autor afirma que os efeitos causados podem variar de acordo com as espécies e estágios larvais dos parasitas.

Avaliando o uso de diferentes plantas medicinais, Oliveira (2013) constatou o potencial de controle e inibição da eclodibilidade dos ovos de helmintos para quatro diferentes extratos abordados em seu estudo. No mesmo contexto, Baungratz (2019) constatou que o uso de própolis verde analisado in vitro promoveu a redução no percentual de eclodibilidade dos ovos de nematoides gastrointestinais de ovinos a aproximadamente 4 e 0%, quando aplicadas concentrações de 49,99 e 99,99 mg ml<sup>-1</sup>, respectivamente.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem por objetivo apresentar os equipamentos utilizados e as etapas que compõem os procedimentos para a realização desta pesquisa.

#### 3.1 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE LICOR PIROLENHOSO

As amostras do LP foram coletadas experimentalmente junto a uma UPC (unidade produtora de carvão) composta por 30 fornos circulares de alvenaria do tipo colmeia, localizada no município de Ipiranga/PR.

Foram realizadas três carbonizações simultâneas em fornos circulares de alvenaria com 4m de diâmetro e 2,5m de altura, e capacidade de enforamento para 13m<sup>3</sup> de madeira. Os fornos utilizados possuem uma entrada de ar localizada junto à base da porta; quatro baianas distribuídas na cúpula, uma abertura no centro da cúpula, e dois suspiros de base modelo semi chaminé que correspondem às saídas de ar e gases da carbonização.

O carregamento dos fornos é feito horizontalmente, iniciando-se o preenchimento pelas paredes de forma que se forme um pequeno círculo ao centro. Neste círculo é colocada a madeira de sacrifício, por onde será iniciada a carbonização. Esta madeira entrará em combustão e fornecerá energia ao sistema.

Foi utilizada madeira da espécie *Eucalyptus dunnii* de 7 a 12 anos de idade, cortadas e expostas à secagem natural por seis meses. As toras apresentaram diâmetro entre 6cm e 18cm e comprimento de aproximadamente 1,2m. Segundo Pereira et al. (2000), a densidade básica da espécie definida em literatura gira em torno de 0,464g/cm<sup>3</sup>. A umidade da madeira será estimada segundo o método proposto por Donato (2013).

Após a ignição dos fornos, o avanço da carbonização foi acompanhado por meio de medições da temperatura interna do sistema em intervalos de quatro horas até o encerramento do processo. Para o controle da temperatura, foi utilizado um termômetro analógico (Elotherm 500°C bimetalico, haste com 20cm) fixado na cúpula dos fornos, próximo a porta.



O controle do processo ocorreu por meio da manipulação das entradas e saídas de ar do sistema. A temperatura final de pirólise foi determinada conforme o desenvolvimento da carbonização segundo avaliação do carbonizador, variando entre 320 e 380°C, quando então todas as aberturas do forno foram fechadas para que se encerrasse a carbonização e se iniciasse o resfriamento.

O sistema para a condensação dos gases da carbonização está representado na Figura 4. Consiste na instalação de um tubo de PVC (policloreto de vinila) com dimensões de 15cm de diâmetro e 6m de comprimento, posicionados em um ângulo de 30° e acoplado a um dos suspiros de base de cada forno, ponto de saída dos gases.



**Figura 4.** Instalação dos tubos coletores aos fornos.

**FONTE:** Autoria própria

O LP foi coletado por meio de uma pequena abertura no tubo coletor, localizada a 30cm de sua base, e armazenado em um recipiente plástico posicionado logo abaixo da abertura do tudo.

Os tubos coletores foram acoplados aos fornos 12h após o início da carbonização. Esperou-se esse tempo inicial para que fossem descartados os vapores d'água provenientes da fase de secagem da madeira.

Foram coletadas alíquotas 30ml diretamente do tubo coletor a cada quatro horas durante todo o processo de carbonização, exceto no intervalo corresponde às 02:00 da manhã. A temperatura inicial e a temperatura final de coleta das alíquotas

para o Forno 1 foi de 180°C e 350°C, respectivamente, totalizando 21 amostras. Para o Forno 2 de 150°C e 320°C, com 25 amostras. Para o Forno 3 de 150°C e 320°C, com 24 amostras.

As temperaturas adotadas são superiores a temperatura máxima de coleta proposta por Campos (2007). Contudo, o interesse para este trabalho era a recuperação de compostos fenólicos, os quais tem maior formação a temperaturas mais elevadas (YANG et al., 2016). O número de coletas difere-se devido ao tempo de carbonização apresentados pelos fornos.

Foram realizadas outras três coletas de 1l do LP contido no recipiente de armazenamento para cada forno. Estas amostras correspondem a todo o condensado obtido durante a coleta iniciada na 12<sup>a</sup> hora de carbonização, nos tempos de 64h, 88h e 112h de carbonização.

Todas as amostras obtidas foram caracterizadas segundo seu pH, uma vez que baixos valores de pH implicam na presença de compostos fenólicos na composição química do LP, e principal fator de ação antimicrobiana (YANG et al., 2016), objetivo de estudo do presente trabalho.

O pH das amostras foi determinado conforme a NBR 7353:2019 que especifica o método para determinação de pH de soluções aquosas com eletrodo de vidro (ABNT, 2019). O equipamento utilizado foi um pHmetro digital de bancada da marca GEHAKA (modelo PG2000).

As amostras não sofreram nenhum tratamento. A análise de pH foi realizada em triplicata.

### 3.2 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE LODO DE ESGOTO ESTABILIZADO

As amostras de lodo de esgoto estabilizado foram coletadas junto a uma ETE (estação de tratamento de esgoto) pertencente a uma empresa de saneamento básico.

O processo de tratamento biológico do esgoto recebido pela empresa consiste no emprego do sistema RALF (reator anaeróbio de lodo fluidizado) seguido por lagoa de estabilização facultativa. Semanalmente, são realizadas descargas da lagoa de

estabilização que retiram do processo aproximadamente 30 mil litros da matéria acumulada ao fundo, correspondente ao lodo de esgoto.

As descargas são feitas em tanques de drenagem, onde o lodo permanece por aproximadamente 30 dias para a redução do teor de umidade.

Para a realização do presente estudo, foram coletados 3kg de lodo de esgoto disposto em tanque de drenagem com 12 dias de descarga. A coleta foi realizada de maneira aleatória em diferentes pontos do tanque de modo a se obter uma amostra homogênea.

Após a coleta, a amostra foi fracionada em recipientes plásticos esterilizados em 12 porções de 100gr cada, mensuradas com o auxílio de uma balança analítica de precisão da marca Shimadzu (modelo BL3200H).

As amostras de lodo foram caracterizadas segundo o teor de sólidos totais de acordo com o método descrito pela Norma Técnica Internacional 23/2017 – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (BAIRD; BRIDGEWATER, 2017).

### 3.3 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE SANITIZANTE DO LICOR PIROLENHOSO

Para a aplicação ao lodo de esgoto, foram utilizadas as amostras de LP referentes à segunda coleta realizada do recipiente de armazenamento. Essas amostras correspondem ao condensado obtido da 12<sup>a</sup> a 88<sup>a</sup> hora de carbonização, tempo estimado de mudança para a terceira fase do processo.

Coletou-se 1l do LP obtido em cada forno acompanhado, resultando em três amostras. Então, foram retirados 200ml de cada amostra, unificados e homogeneizados a fim de formar uma amostra única. Durante o experimento não houve nenhum tipo de tratamento aplicado, ou seja, utilizou-se o LP bruto.

O tratamento experimental consistiu na aplicação de quatro diferentes dosagens da amostra única de LP nas porções previamente fracionadas do lodo de esgoto, como descrito na seção 3.2. As dosagens utilizadas foram de 0ml (controle), 10ml, 30ml e 50ml, aplicadas diretamente ao lodo com o auxílio de um dosador, e homogeneizadas em seguida.

Todos os tratamentos foram realizados em triplicata, totalizando 12 testes.

As amostras tratadas foram reservadas em local arejado por um período de 24h. Retirou-se, então, alíquotas de 10gr de cada amostra para a realização da análise parasitológica a fim de verificar a presença ou ausência de ovos e/ou larvas de helmintos e cistos de protozoários.

Devido ao fechamento dos laboratórios universitários por causa da pandemia da COVID-19, as análises parasitológicas foram terceirizadas, realizadas no Laboratório de Análises Clínicas Della Bianca localizado no município de Ipiranga/PR.

Após 48h da aplicação do LP ao lodo de esgoto foram retiradas novas alíquotas de 10gr de cada amostra para nova análise parasitológica. Após um período de secagem de 50 dias, repetiu-se novamente o procedimento de separação das alíquotas.

De acordo com Feron (2018), a sanidade do lodo de esgoto é avaliada segundo a presença de bactérias termotolerantes e ovos viáveis de helmintos. Contudo, os helmintos são os microrganismos mais resistentes (PEDROZA et al., 2019; ROCHA; BARÉS; BRAGA, 2016). Dentre os métodos de análises para pesquisa de parasitos, o mais difundido é o método Hoffman, Pons e Janer.

Este método consiste na sedimentação espontânea fundamentada pela lei gravitacional, onde uma pequena porção da amostra é dissolvida em água destilada e mantida em repouso para que se obtenha o sedimento ao fundo. Por serem mais densos, ovos, larvas, cistos e oocistos de parasitos se acumularão ao fundo possibilitando assim a análise da amostra (LIMA et al., 2020).

Para a realização do método, colocou-se individualmente cerca de 2gr das amostras tratadas em pequenos recipientes onde foram diluídas com água destilada. Após homogeneizada, a suspensão obtida foi coada em uma peneira com tela de plástico para dentro de um recipiente cônico e completado seu volume com água destilada, como demonstrado na Figura 5.



**Figura 5.** Preparo das amostras para realização do método proposto.

**FONTE:** Autoria própria

A solução permaneceu em repouso por aproximadamente 4h para que houvesse a melhor sedimentação. Logo após, com o auxílio de uma pipeta retirou-se 1µl do sedimento formado ao fundo do recipiente cônico que foi transferido a uma lâmina de vidro para análise microscópica. Para melhor visualização, adicionou-se à lâmina uma gota de lugol. As lâminas foram analisadas em microscópio óptico em objetiva de 10x e 40x.

A identificação dos microrganismos foi realizada de acordo com o formato e tamanho, com o auxílio do Manual de Parasitologia (KAMINSKY, 2014). A quantificação foi realizada segundo a concentração de ovos de helmintos, expressa em número de ovos totais por grama (peso seco) conforme a equação a seguir:

$$Ovos\ totais\ (g\ peso\ seco) = \frac{Ovos\ totais}{(AP \times ST)}$$

onde:

AP = amostra processada em gramas (g)

ST = % sólidos totais

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta.

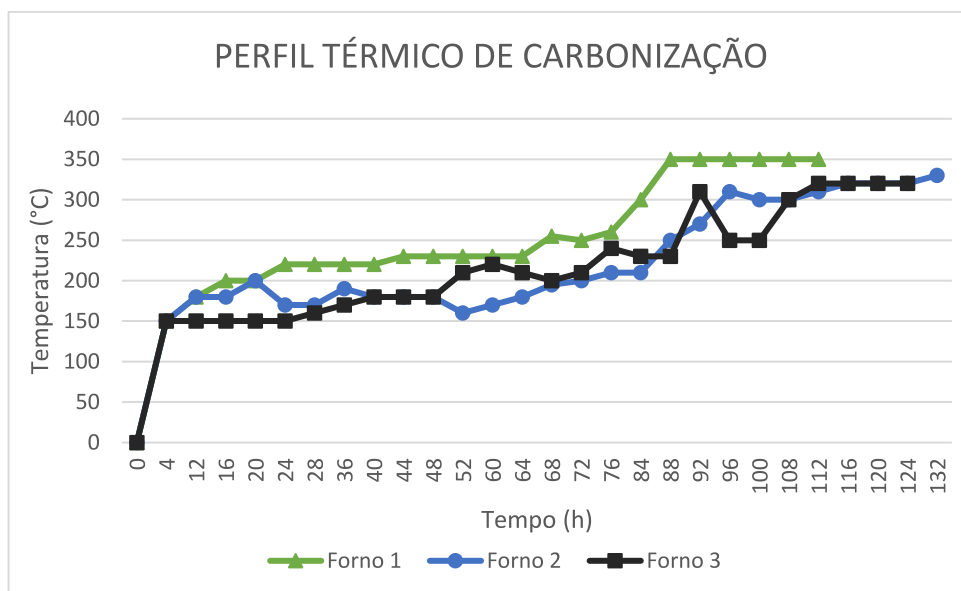
### 4.1 PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO

A madeira utilizada para o carregamento dos três fornos era pertencente ao mesmo lote, com tempo de corte, secagem e estocagem muito próximos. O teor de umidade da madeira foi de aproximadamente 29%, estimado segundo método proposto por Donato (2013).

A ignição e o acompanhamento inicial foi idêntico para os três fornos. Contudo, observa-se que os processos de carbonização avaliados apresentaram perfis térmicos bastante divergentes.

As curvas de carbonização obtidas para os três processos acompanhados podem ser visualizadas no Gráfico 1.

**Gráfico 1.** Perfis térmicos de carbonização apresentado pelos fornos acompanhados.



**FONTE:** Autoria própria

Segundo Santos (2017), o processo de carbonização é influenciado por fatores como temperatura, pressão interna, fluxo dos gases e taxa de aquecimento. A divergência entre as curvas obtidas pode ser explicada por alterações de um ou mais

destes fatores, uma vez que a umidade da madeira e configuração dos fornos foi a mesma.

O processo de carbonização para o Forno 1 levou aproximadamente 112h, e apresentou uma curva regular e semelhante aos processos descritos na literatura. Os Fornos 2 e 3 necessitaram de um maior tempo de carbonização, com 132h e 124h, respectivamente, onde as curvas obtidas apresentam significativas quedas de temperatura durante o processo.

O processo de carbonização é comumente dividido em quatro fases, caracterizadas quanto aos fenômenos que ocorrem dentro de determinadas faixas térmicas (DONATO, 2017; LANA, 2014). Avaliando isoladamente a curva pertencente ao Forno 1, a qual apresentou comportamento mais regular, é possível caracterizar o perfil térmico obtido quanto a estas fases.

A Fase I corresponde à secagem da madeira. Para o Forno 1, durou aproximadamente 16h e atingiu temperatura máxima de 200°C, quando houve uma breve estabilização. A Fase II implica a torrefação da madeira e início da degradação das celulosas e hemicelulosas. Houve uma tendência de estabilização térmica com temperaturas entre 220 a 230°C com duração de aproximadamente 48h. Na Fase III é intensificada a degradação das celulosas e inicia-se a degradação da lignina. Neste momento, as reações que ocorrem dentro dos fornos passam a ser reações exotérmicas e explicam a elevada taxa de aquecimento, onde a temperatura passou de 250 para 350°C em um período de 24h. A Fase IV corresponde à fixação do carbono no carvão vegetal, iniciada com nova estabilização térmica a 350°C. Após 24h de permanência nesta fase, todas as aberturas do forno foram fechadas para que se finalizasse a carbonização e iniciasse o resfriamento.

Santos (2017) apresenta um compilado de informações constando estudos encontrados em literatura sobre as fases do processo de carbonização e suas faixas térmicas, mostrados na Tabela 3. O perfil térmico desempenhado pelo Forno 1 é coerente com as faixas térmicas descritas por Almeida (1982) e Rezende (2006).

**Tabela 3.** Descrição dos fenômenos pertinentes às fases da carbonização e suas faixas térmicas de ocorrência descritas em literatura.

REFERÊNCIA (Escala)	FASE I	FASE II	FASE III	FASE IV
FENÔMENO	Liberção de vapor de água – secagem da	Degradação das hemicelulosas – eliminação de	Degradação da celulose – grande eliminação de	Redução da emissão de gases – aumento da

	madeira. Fase endotérmica	gases. Fase endotérmica	gases. Fase exotérmica	concentração de carbono no carvão vegetal. Fase Exotérmica
ALMEIDA, 1982 (Laboratorial)	110°C – 200°C	180°C – 200°C	250°C – 300°C	Acima de 300°C
REZENDE, 2006 (Laboratorial)	Até 110°C	110°C – 250°C	250°C – 350°C	Acima de 350°C
SANTOS, 2010 (Laboratorial)	25°C – 100°C	220°C – 300°C	300°C – 400°C	400°C – 500°C
OLIVEIRA et al., 2013 (Experimental)	100°C – 150°C	150°C – 275°C	275°C – 400°C	400°C – 470°C

**FONTE:** Adaptado de (SANTOS, 2017).

Mesmo que os perfis térmicos apresentados no Gráfico 1 sejam divergentes entre si, é possível verificar que os demais fornos acompanhados tenderam a também respeitar as quatro fases da carbonização. A não homogeneidade das curvas obtidas pode ser atribuída à precariedade no controle do processo.

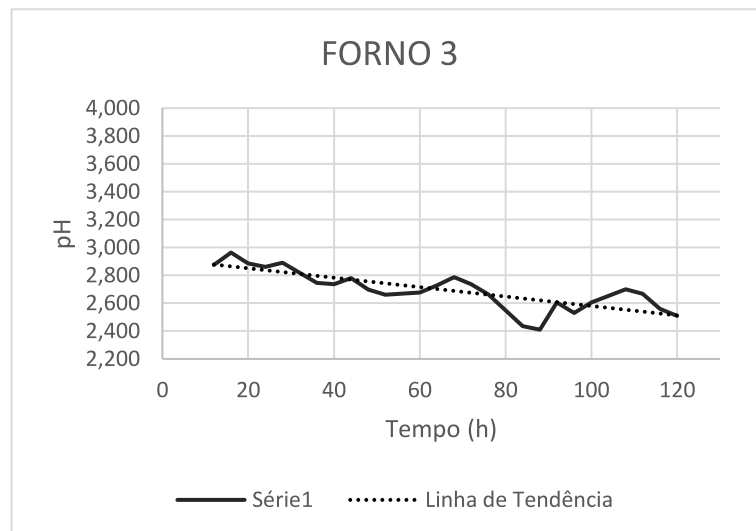
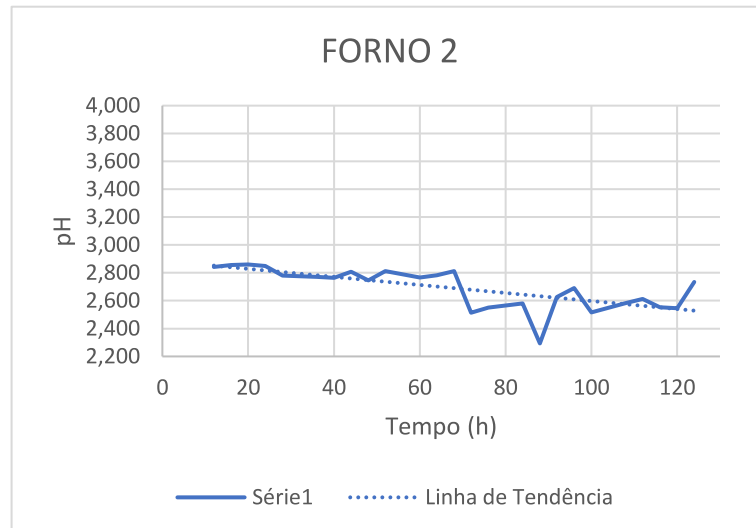
Vale ressaltar que não houve interferências aos processos de carbonização acompanhados. As curvas apresentadas no Gráfico 1 representam processos reais desempenhados pela UPC, onde o controle e manipulação das temperaturas são de responsabilidade apenas do carbonizador que se utilizou da sua experiência para tal.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO LICOR PIROLENHOSO

A partir dos valores médios obtidos com a análise em triplicata das amostras coletadas nos intervalos de quatro horas, foram determinadas as curvas de pH em relação ao tempo de carbonização para os fornos acompanhados, apresentadas no Gráfico 2. Foram 21 pontos amostrais para o Forno 1, 25 para o Forno 2 e 24 para o Forno 3. A diferença no número de pontos deu-se devido ao tempo de carbonização observado em cada forno.



**Gráfico 2.** Curva pH versus tempo de carbonização segundo amostras coletadas a cada quatro horas para os três fornos.



**FONTE:** Autoria própria

As curvas obtidas apresentam um comportamento não linear com tendência decrescente, marcado por pontos de queda brusca nos valores de pH. Entretanto, se diferem entre si em vários aspectos.

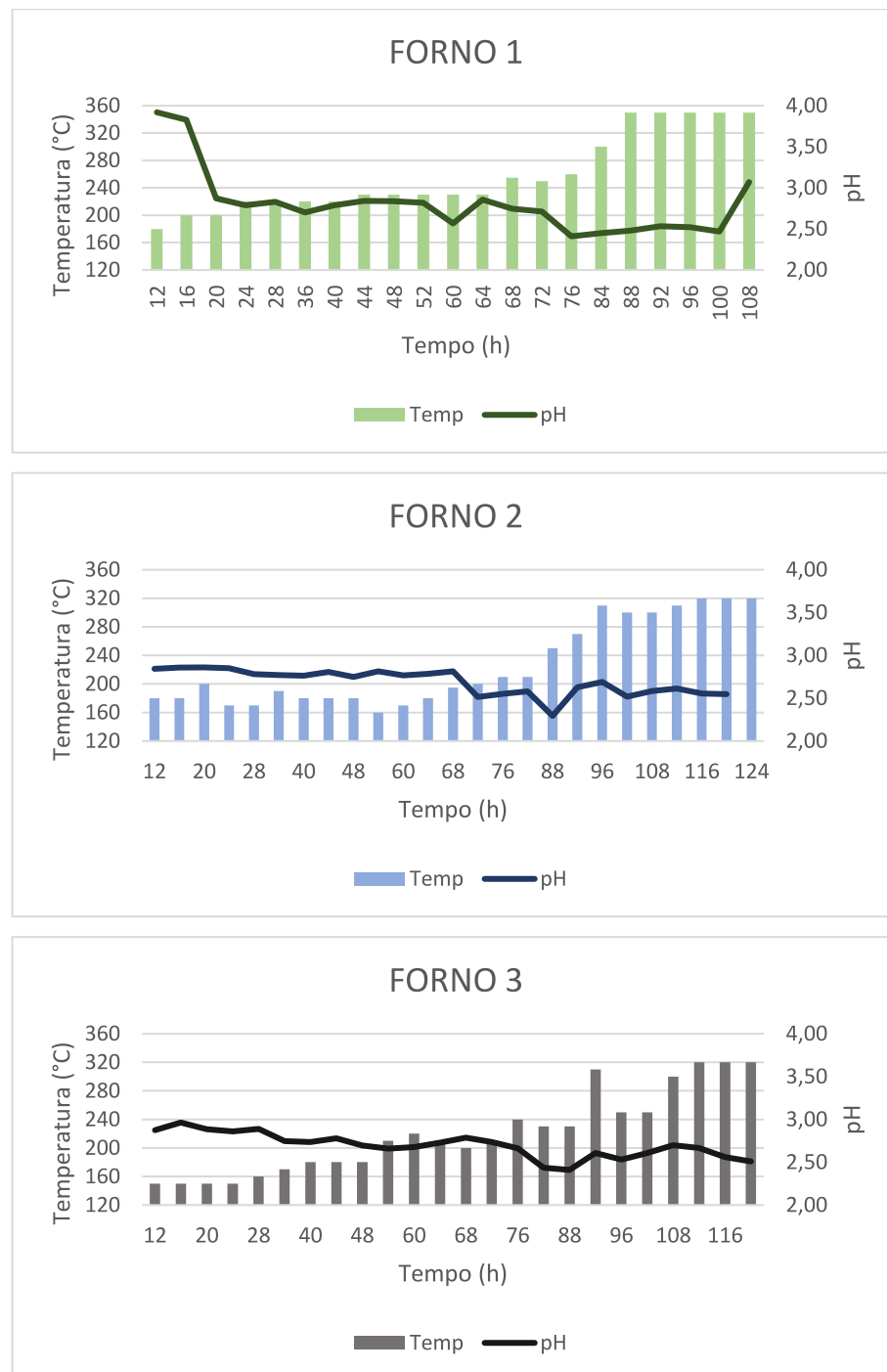
As coletas realizadas diretamente do tubo coletor representam alíquotas com a exata composição química que está sendo extraída a determinada temperatura e tempo de carbonização. A discrepância observada entre os valores de pH para uma mesma curva pode ser atribuída à extração de um composto específico que ocorreu em determinado momento. Já a discrepância entre as curvas, pode estar relacionada aos diferentes perfis térmicos observados durante o acompanhamento dos processos de carbonização.

Embora as curvas encontradas não tenham apresentado um padrão, os valores médios de pH estão bastante próximos. O Forno 1 apresentou o maior gradiente, onde as médias das análises variaram entre 2,41 a 3,92. Para o Forno 2, a variação permaneceu entre 2,29 a 2,86, enquanto que para o Forno 3, permaneceu entre 2,41 a 2,96.

Os baixos valores de pH encontrados indicam a presença de compostos fenólicos nas amostras, uma vez que a acidez é diretamente influenciada pela composição química que o LP apresenta devido as características específicas que os inúmeros compostos extraídos apresentam. Por sua vez, os compostos fenólicos possuem baixos valores de pH e sua extração é propiciada com o aumento da temperatura (WU et al., 2015; YANG et al., 2016).

A relação entre o aumento de temperatura e os valores médios de pH encontrados para cada coleta pode ser melhor observada no Gráfico 3.

**Gráfico 3.** Relação entre pH e temperatura de coleta *versus* tempo de carbonização para os três fornos acompanhados.



**FONTE:** Autoria própria

De acordo com o Gráfico 3, há uma tendência de redução no pH dado o avanço da temperatura. Os pontos de maior queda na curva de pH ocorreram relativamente próximos entre os três processos acompanhados.

Para o Forno 1, o menor valor médio encontrado para o pH foi de 2,41 a temperatura de 260°C com 76 horas de carbonização. Para o Forno 2 e o Forno 3, os menores valores médios para o pH foram de 2,29 a 250°C e 2,41 a 230°C, respectivamente, ambos com 88 horas de carbonização.

Os pontos de menor valor de pH foram observados próximos à mudança para a Fase III em seus respectivos processos. Este fato pode estar associado à extração de um componente específico liberado com a mudança de fase, uma vez que, como já mencionado anteriormente, as alíquotas coletadas representam composições químicas pontuais a determinadas temperaturas e tempo de carbonização.

De todo modo, independentemente do desempenho de fatores como temperatura e taxa de aquecimento observados durante o desenvolvimento da carbonização, os compostos extraídos que formarão a composição química final do LP tendem a ser os mesmos, variando apenas em concentração (ALMEIDA, 2012; MEDEIROS, 2018).

As amostras retiradas do recipiente de armazenamento segundo o tempo de coleta são representações da composição química total do LP em diferentes tempos de carbonização. Os valores médios de pH obtidos com as análises em triplicata destas amostras são descritos na Tabela 4.

**Tabela 4.** Valores médios de pH, desvio padrão (dp) e coeficiente de variação (C.V.) obtidos em relação ao tempo de coleta para os três fornos.

COLETAS	MÉDIAS			dp	C.V.
	FORNO 1	FORNO 2	FORNO 3		
64h	2,833	2,795	2,763	0,028	1,023 %
88h	2,790	2,780	2,737	0,022	0,827 %
112h	2,787	2,765	2,713	0,031	1,122 %

**FONTE:** Autoria própria.

Os valores de pH apresentados na Tabela 4 são superiores aos encontrados por Almeida (2012), que obteve pH médio de 2,21 para o EP obtido em escala laboratorial (coletado até 400°C), e 2,68 para o EP obtido em escala industrial (coletado entre 80 a 120°C). Porém, permaneceram inferiores ao pH de 3,2 obtido por Vieira et al. (2014) e ao pH de 3,7 obtido por Suresh et al. (2019), ambos de origem laboratorial.

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

Os resultados obtidos com a caracterização da amostra de lodo de esgoto estabilizado, coletado 12 dias após descarga em leito de secagem, determinou o teor de umidade em 91,27%. Assim, a porcentagem de sólidos totais (ST) da amostra foi de 8,73%.

Já o resultado obtido para o teor de sólidos voláteis foi de 4,94%, correspondendo a 56,69%ST, enquanto que o teor para sólidos fixos foi de 3,78%, correspondendo a 43,31%ST. Tais resultados são condizentes com as diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 375/2006, que prevê a estabilidade do lodo de esgoto quando atendida a relação sólidos voláteis e sólidos totais inferior a 0,70 (BRASIL, 2006).

### 4.4 CAPACIDADE SANITIZANTE DO LICOR PIROLENHOSO

A aplicação do LP ao lodo de esgoto gerou uma reação instantânea de liberação de gases e formação de bolhas na massa das amostras, exceto na dosagem de controle (0ml). Esta reação se apresentou mais intensa de acordo com o aumento das dosagens.

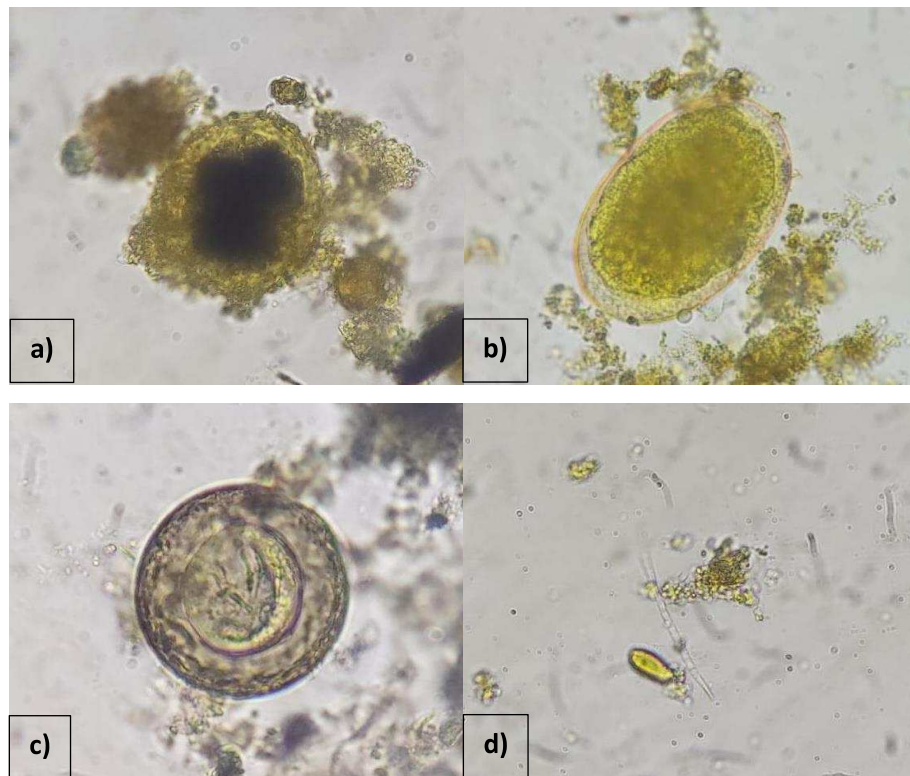
Ao permanecerem em repouso por 24h, as amostras controle e amostras tratadas com 10ml tenderam a formar uma casca seca como superfície protetora, mantendo sua umidade interior. Essa é uma característica também observada nos tanques de drenagem do lodo de esgoto com a evolução do processo de secagem devido à perda de umidade superficial.

Entretanto, a adição do LP nas dosagens de 30ml e 50ml acarretou na maior diluição das amostras e conseqüente aumento de umidade. Na aplicação de 30ml, a superfície das amostras permaneceu úmida por mais tempo, enquanto que na aplicação de 50ml percebeu-se um excesso de produto que não foi capaz de se homogeneizar completamente ao lodo, pois durante o repouso foi possível verificar a separação de fases nestas amostras.

O excesso de LP permaneceu em sua forma líquida na superfície destes recipientes que só perderam umidade, em média, após 40 dias da aplicação, quando houve a completa evaporação do LP.

O resultado das análises parasitológicas indicou a presença de microrganismos patogênicos em todas as amostras identificadas como controle, inclusive quando estas já apresentavam baixo teor de umidade, como observado nos testes realizados após 50 dias do início do experimento.

Foram identificadas quatro espécies de helmintos: ovos e larvas de *Ancylostoma* sp, ovos e larvas de *Ascaris lumbricoides*, ovos de *Taenia* sp e ovos de *Hymenolepis nana*; e uma espécie de protozoário: cistos de *Giardia lamblia*, apresentadas na Figura 6. Estas, são espécies corriqueiramente encontradas em lodo de esgoto (BONATTI; FRANCO, 2016; CARRIJO; BIONDI, 2008; MAYA et al., 2012; PEDROZA et al., 2019; SANTOS et al., 2012).



**Figura 6.** Imagens de alguns dos parasitos encontrados nas amostras controle: a) ovo de *Ascaris*; b) ovo de *Ancylostomideo*; c) ovo de *Taenia*; d) cisto de *Giardia*.

**FONTE:** Autoria própria

A média do número de ovos de helmintos e cistos de protozoários obtida a partir das análises em triplicata das lâminas contendo 1µl das amostras controle é descrita na Tabela 5, juntamente com o desvio padrão (dp) e a quantidade observada de ovos totais por grama (peso seco).

**Tabela 5.** Número médio de ovos de helmintos e cistos de protozoários, desvio padrão (dp) e quantidade de ovos e cistos por grama de sólidos totais observados em alíquotas de 100µl.

PARASITOS	MÉDIA	dp	OVOS.g <sup>-1</sup>
OVOS DE HELMINTOS			
<i>Ascaris lumbricoides</i>	11,66	1,247	1,092
<i>Ancylostoma</i> sp	8,33	0,471	0,780
<i>Taenia</i> sp	1,66	0,471	0,156
<i>Hymenolepis nana</i>	1,33	1,247	0,124
Total	23,00	0,816	2,153
CISTOS DE PROTOZOÁRIOS			
<i>Giardia lamblia</i>	22,66	2,054	2,122

**FONTE:** Autoria própria.

O número médio de ovos encontrados nas amostras controle foi de 2,153 ovos.g<sup>-1</sup>, onde a maior concentração foi percebida para a espécie *Ascaris lumbricoides*, representando 51% dos ovos totais, seguida por ovos de *Ancylostoma* sp (36%), ovos de *Taenia* sp (7%) e ovos de *Hymenolepis nana* (6%). Já o número médio de cistos de *Giardia lamblia* encontrado nas amostras controle foi de 2,122 cistos.g<sup>-1</sup> para as amostras analisadas.

A concentração de ovos de helmintos descrita na Tabela 5 é semelhante à concentração encontrada por Rossmann et al. (2014). A maior presença de ovos de *Ascaris lumbricoides* também foi observada por Bastos et al (2013) em lodo de esgoto proveniente de diferentes ETEs, porém, em maiores quantidades.

A sanidade do lodo de esgoto é determinada segundo o número de ovos viáveis de helmintos, ou seja, aqueles que apresentam capacidade de desenvolvimento e posterior contaminação do meio. Quanto menor a viabilidade dos ovos, mais eficiente é o processo de higienização (ROCHA; BARÉS; BRAGA, 2016).

Com a aplicação do LP, esperava-se o efeito inverso àquele acometido pela cal em relação ao pH do meio, de modo a provocar acidificação elevada. Porém, não foram percebidas alterações significativas no pH das amostras após as aplicações de LP para as dosagens adotadas (dados não apresentados).

Ainda assim, os resultados microbiológicos após o tratamento com LP afirmam que não foi identificada a presença parasitológica nas amostras que receberam as dosagens de 10ml, 30ml e 50ml, analisadas em 24 e 48h após aplicação. A contagem de parasitos nestas lâminas foi igual a zero, o que prova a inativação dos ovos e larvas

de helmintos e cistos e oocistos de protozoários para as espécies previamente identificadas.

Entretanto, durante a repetição das análises após 50 dias do início do experimento identificou-se a presença de ovos de *Ascaris lumbricoides*, ovos de *Ancylostoma* sp e cistos de *Giardia lamblia* nas amostras tratadas com LP a 10ml. O número médio de parasitos encontrados nestas amostras foi de 0,873 ovos.g<sup>-1</sup> e 1,061 cistos.g<sup>-1</sup>. Para as demais dosagens, 30ml e 50ml, manteve-se a eficiência.

Assim, embora observada a redução na concentração de parasitos, a dosagem de 10ml de LP não foi suficiente para a completa higienização do meio. Todavia, estudos futuros são necessários para elucidar o mecanismo de ação do LP, bem como quais são as dosagens adequadas para que se tenha a completa inviabilização dos parasitos presentes no lodo de esgoto.



## 5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos pode-se afirmar que o pH tende a diminuir com o desenvolvimento do processo de carbonização e o aumento da temperatura do mesmo. Os pontos de menor valor para o pH foram registrados próximos à mudança para a terceira fase da carbonização nos três fornos, o que pode significar a liberação de uma substância específica neste momento.

A partir da recuperação contínua do condensado durante a 12<sup>a</sup> à 88<sup>a</sup> hora de carbonização foram obtidas amostras de LP com a composição química total extraída neste intervalo de tempo. Os valores médios de pH obtidos para estas amostras foram de 2,970 para o Forno 1, 2,780 para o Forno 2 e 2,737 para o Forno 3.

A aplicação destas amostras (coletadas a 88h do início da carbonização) ao lodo de esgoto estabilizado nas dosagens de 10ml, 30ml e 50ml resultou na eficiente inibição de ovos e larvas de helmintos e cistos e oocistos de protozoários nos tempos de ação de 24h e 48h. Os resultados obtidos indicaram a contagem parasitológica igual a zero em até 48h após a aplicação do LP.

Tal eficiência pode ser verificada ao compararmos os resultados obtidos com a análise das amostras controle (dosagem de 0ml), onde foram identificados ovos e larvas de helmintos para as espécies *Ancylostoma* sp, *Ascaris lumbricoides*, *Taenia* sp e *Hymenolepis nana* e cistos de protozoários da espécie *Giardia lamblia*.

A repetição das análises parasitológicas após 50 dias do início do tratamento permaneceu indicando a presença de helmintos nas amostras controle, bem como o aparecimento de parasitos nas amostras tratadas com 10ml. As dosagens de 30ml e 50ml permaneceram não positivas. Assim, a eficiência dos resultados é função das dosagens aplicadas. Indica-se a aplicação de 30ml a cada 100g de lodo de esgoto estabilizado, uma vez que a dosagem de 10ml não se apresentou eficiente e a dosagem de 50ml acarreta em um gasto superior de LP e, conseqüentemente, mais energia.

A partir dos resultados obtidos, pode-se atribuir ao LP um potencial anti-helmíntico que permite sua utilização como agente saneante em lodo de esgoto estabilizado. Dessa forma, a aplicação de LP surge como alternativa à calagem para o processo de higienização do lodo de esgoto. Para tanto, são necessários novos estudos que busquem avaliar o mecanismo de ação do LP sobre os helmintos, bem como a dosagem mínima para inibição total da atividade microbiana.

Finalmente, por se tratar de um produto obtido com a condensação da fumaça em processos de carbonização da madeira que visam a produção de carvão vegetal, sua utilização agrega valor à cadeia de produção do carvão vegetal e aumenta o aproveitamento da biomassa, além de gerar menor emissão gasosa lançada ao meio ambiente e conseqüente redução dos gases de efeito estufa.

## 6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7353:2019 - Determinação do pH com eletrodo de vidro**. Rio de Janeiro, 2019.

ALMEIDA, G. C. et al. Eficiência dos processos químico e térmico na higienização de lodo de esgoto. **Iniciação Científica Cesumar**, v. 08, n. 1, p. 95–99, 2006.

ALMEIDA, R. S. R. **Potencial do extrato pirolenhoso da madeira de eucalipto como agente conservante de cosméticos e saneantes**. 112p. Tese (Doutorado em Ciências). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2012.

ANA. **Atlas Esgotos - Despoluição de Bacias Hidrográficas Atlas Esgotos**. Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, DF. 2017. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>.

APAN. **Extrato Pirolenhoso**. Associação dos Produtores de Agricultura Natural, 2013. Disponível em:  
<<c:%5Cinetpub%5Cwwwroot%5Cecopirol.com%5Cdados%5Cecolpirol02.doc>>.

BAIRD, R.; BRIDGEWATER, L. *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater* 23rd Edition. 2017

BARBOSA, J. G. Gestão ambiental em estações de tratamento de esgoto sanitário: alternativas para o lodo de esgoto. **Revista Especialize On-line IPOG**, v. 01, n. 15, p. 15, 2018.

BASTOS, V. K. et al. Detection and quantification of viable *Ascaris* sp. and other helminth eggs in sewage sludge. **International Journal of Environmental Health Research**, v. 23, n. 4, p. 352–362, 2013.

BAUNGRATZ, A. R. **Extrato de própolis verde no controle de helmintos gastrointestinais de ovinos e caprinos: estudos in vitro e in vivo**. 117p. Dissertação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos-PR. 2019.

BONATTI, T. R.; FRANCO, R. M. B. Real scale environmental monitoring of zoonotic protozoa and helminth eggs in biosolid samples in Brazil. **Journal of Parasitic Diseases**, v. 40, n. 3, p. 633–642, 2016.

BRASIL. **Resolução N° 375, DE 29 DE AGOSTO DE 2006** Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, , 2006.

CAMPOS, A. D. **Circular Técnica 65 - Técnicas para produção de extrato pirolenhoso para uso agrícola**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado.

CAMPOS, A. D. **Circular Técnica 178 - Processos de coleta e produção do extrato pirolenhoso para uso agrícola**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado.

CAMPOS, A. D. **Circular Técnica 177 - Informação técnica sobre extrato pirolenhoso**. Pelotas, RS. Embrapa Clima Temperado.

CANAL, W. D. et al. Comportamento térmico e emissão de gases condensáveis e não condensáveis no processo de carbonização da madeira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 87, p. 261–267, 2016.

CARRIJO, J. R.; BIONDI, G. F. Levantamento de ovos de helmintos em lodo de esgoto oriundo de Campo Grande (MS) após tratamento anaeróbico. **Ciência Animal Brasileira**, v. 9, n. 1, p. 207–211, 2008.

CARVALHO, L. C. DO C. S. et al. Estabilização alcalina como processos de Higienização do lodo de esgoto para fins agrícolas. **2° Simpósio de Águas Termiais, Minerais e Naturais de Poços de Caldas**, p. 3, set. 2017.

CHAN, E. W. C. et al. Potent antibacterial activity of wood vinegar from Matang Mangroves, Malaysia. **ISME/GLOMIS Electronic Journal**, v. 10, n. 4, p. 10–12, 2012.

CHEMANE, I. A. **Vinagre pirolenhoso de Eucaliptus sp. como alternativa antimicrobiana na dieta de frango de corte**. 72p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Macaíba-RN, 2018.

CHIAMENTI, L. et al. Ação antibacteriana do licor pirolenhoso sobre coliformes. **Revista Conhecimento Online**, v. 2, n. 8, p. 47–54, 2016.

DAVID, A. C. **Secagem térmica de lodos de esgoto. Determinação da umidade de equilíbrio**. 163p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP., 2002.

DE SOUZA, J. L. S. et al. Antimicrobial potential of pyrolygneous extracts – a systematic review and technological prospecting. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, p. 128–139, 2018.

DIÓGENES, G. V. **Extrato pirolenhoso como aditivo na ração de codornas europeias criadas em dois tipos de cama**. 34p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Macaíba-RN., 2017.

DONATO, D. B. **Métodos de amostragem e de determinação do teor de umidade da madeira em tora**. 59p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 2013.

DONATO, D. B. **Desenvolvimento e avaliação de fornalha para combustão dos gases da carbonização da madeira**. Universidade Federal de Viçosa, 2017.

ENCARNAÇÃO, F. Redução do impacto ambiental na produção de carvão vegetal e obtenção do ácido pirolenhoso como alternativa para proteção de plantas. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 2, n. 4, p. 4, 2001.

FAO. **The charcoal transition: greening the charcoal value chain to mitigate climate change and improve local livelihoods**. Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.

FERON, G. **Avaliação do tratamento e da destinação do lodo de esgoto da estação de tratamento de esgoto do município de Francisco Beltrão/PR**. 186p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Francisco Beltrão-PR, 2018.

GONÇALVES, F. G. et al. Captação de líquido pirolenhoso da carbonização da madeira de *Eucalyptus cloeziana* em forno rabo quente. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 2, p. 232–237, 2010.

GREWAL, A.; ABBEY, LORD; GUNUPURU, L. R. Production, prospects and potential application of pyrolygneous acid in agriculture. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 135, n. November, p. 152–159, 2018.

IBÁ. Brazilian Tree Industry Annual Report - base year 2019. **Associação Brasileira de Árvores**, p. 160, 2020.

JANKOWSKY, L. **Avaliação do potencial antimicrobiano do licor pirolenhoso de**

**Dendrocalamus**. 126p. Tese (Doutorado em Ciências). Escola Superopr de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba-SP, 2019.

KAMINSKY, R. G. DE. Manual de parasitología: técnicas para laboratorio de APS y para el diagnóstico de las enfermedades infecciosas desatendidas. In: **Manual de parasitología**. v. terceira edp. 1–188, 2014.

LANA, A. Q. **Desenvolvimento e avaliação de uma fornalha metálica para combustão dos gases da carbonização da madeira**. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 2014.

LEME, M. M. V. et al. Electricity generation from pyrolysis gas produced in charcoal manufacture: Technical and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 194, p. 219–242, 2018.

LI, Z. et al. Disinfection and removal performance for Escherichia coli, toxic heavy metals and arsenic by wood vinegar-modified zeolite. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 174, n. October 2018, p. 129–136, 2019.

LIMA, F. L. O. et al. **Um século do exame parasitológico de Lutz e sua relevância atual**. Disponível em: <<http://www.rbac.org.br/artigos/um-seculo-do-exame-parasitologico-de-lutz-e-sua-relevancia-atual/>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

LOPES, W. DA S. **Caracterização, solubilização e tratamento de lodos de esgotos com recuperação de subprodutos**. 133p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande-PB, 2019.

MADER NETTO, O. S. et al. Estudo das variações de pH no lodo caleado em função de diferentes dosagens de óxido de cálcio e teores de umidade. **22° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, p. 6, set. 2003.

MARTINS, V. C. **Potencial da ação antifúngica do licor pirolenhoso de *Hovenia dulcis* Thunb. a fungos xilófagos in vitro**. 39p. Trabalho de Conclusão de Curso( Engenharia Florestal). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos-PR, 2017.

MAYA, C. et al. Viability of six species of larval and non-larval helminth eggs for different conditions of temperature, pH and dryness. **Water Research**, v. 46, n. 15, p.

4770–4782, 2012.

MEDEIROS, L. C. D. DE. **Efeito da velocidade de carbonização na composição química do extrato pirolenhoso da madeira de Eucalypto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) e Jurema Preta (*Mimosa tenuiflora* (Wild.) Poir.)**. 55p. Dissertação (Mestrado Ciências Florestais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Macaíba-RN, 2018.

MOLAN, A. L. Effect of purified condensed tannins from pine bark on larval motility, egg hatching and larval development of *Teladorsagia circumcincta* and *Trichostrongylus colubriformis* (Nematoda: Trichostrongylidae). **Folia Parasitologica**, v. 61, n. 4, p. 371–376, 2014.

MORALES, M. M. et al. Elucidating the chemical properties and potential applications of wood vinegars produced by controlled thermal treatments. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)**, v. 6, n. 5, p. 545–560, 2019.

NUNES, T. DE S. **Extrato pirolenhoso na alimentação de codornas japonesas**. 64p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias). Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre-ES, 2019.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: Coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2ª Edição ed. São Paulo: Editora Blucher Ltda, 2011.

OLIVEIRA, A. C. **Sistema forno-fornalha para a produção de carvão vegetal**. [s.l.] 74p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 2012.

OLIVEIRA, A. C. et al. Otimização da produção do carvão vegetal por meio do controle de temperaturas de carbonização. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 557–566, 2013.

OLIVEIRA, L. D. R. DE. **Plantas medicinais como alternativa para o controle de *Haemonchus contortus* em ovinos: testes in vitro e in vivo**. [s.l.: s.n.].

ONU. **Siderurgia Sustentável desenvolve cadeia de produção com baixa emissão de poluentes**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/siderurgia-sustentavel-desenvolve-cadeia-de-producao-com-baixa-emissao-poluentes/>>.

Acesso em: 11 set. 2020.

ORAMAHI, H. A. et al. Antifungal and antitermitic activities of wood vinegar from oil palm trunk. **Journal of Wood Science**, v. 64, n. 3, p. 311–317, 2018.

PASSAMANI, F. R. F.; KELLER, R.; GONÇALVES, R. F. Higienização de lodo utilizando caleagem e pasteurização em uma pequena estação de tratamento de esgoto combinando reator UASB e biofiltro aerado submerso. **XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, Cancún-México. Out, 2002.

PEDROZA, M. M. et al. Lodo de esgoto doméstico: Características físicas, químicas e biológicas. **Revista Multi Debates**, v. 3, n. 2, p. 206–218, 2019.

PEREIRA, B. L. C. et al. Efeito da carbonização da madeira na estrutura anatômica e densidade do carvão vegetal de Eucalyptus. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 545–557, 2016.

PEREIRA, E. G. et al. Energy Assessment of Wood Pyrolysis Coproducts for Drying and Power Generation. **Energy and Fuels**, v. 31, n. 12, p. 13815–13823, 2017.

PEREIRA, J. C. D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo, PR: Embrapa Florestas. 2000.

PIMENTA, A. S. et al. Evaluation of acute toxicity and genotoxicity of liquid products from pyrolysis of Eucalyptus grandis wood. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 38, p. 169–175, 2000.

PIMENTA, A. S. et al. Chemical Composition of Pyrolytic Acid Obtained from Eucalyptus GG100 Clone. **Molecules**, v. 23, n. 426, p. 1–12, 2018.

ROCHA, M. C. V. DA; BARÉS, M. E.; BRAGA, M. C. B. Quantification of viable helminth eggs in samples of sewage sludge. **Water Research**, v. 103, p. 245–255, 2016.

ROSSMANN, M. et al. Redução da viabilidade de ovos de helmintos em lodo de esgoto doméstico calcado. **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 1, p. 43–49, 2014.

SANEPAR. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Companhia de Saneamento do Paraná. Curitiba, PR. 1999.

SANTOS, J. G. DOS et al. Análise parasitológica em efluentes de estações de



tratamento de águas residuárias. **Revista de Patologia Tropical**, v. 41, n. 3, p. 319–336, 2012.

SANTOS, R. C. DOS et al. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 657–669, 2016.

SANTOS, S. DE F. DE O. M. **Modelo ambiental e econômico de produção de carvão vegetal**. 146p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa-PR, 2017.

SCHNITZER, J. A. et al. Doses de extrato pirolenhoso no cultivo de orquídea. **Revista Ceres**, v. 62, n. 1, p. 101–106, 2015.

SIEBENEICHLER, E. A. et al. Influência de temperatura e taxas de aquecimento na resistência mecânica, densidade e rendimento do carvão da madeira de *Eucalyptus cloeziana*. **Ciência da Madeira**, v. 8, n. 2, p. 82–94, 2017.

SILVA, C. J. DA et al. Pyrolygneous liquor effect on in and ex vitro production of *Oeceoclades maculata* (Lindl.) Lindl. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 947–954, 2017.

SNIS. **PAINEL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-esgotamento-sanitario>>. Acesso em: 6 set. 2020.

SURESH, G. et al. In vitro evaluation of antimicrobial efficacy of pyrolygneous acid from softwood mixture. **Biotechnology Research and Innovation**, v. 3, n. 1, p. 47–53, 2019.

VIEIRA, R. P. et al. Caracterização química do extrato pirolenhoso oriundo da carbonização. 2014. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Florianópolis-SC. Out, 2014.

VILELA, A. DE O. et al. A new technology for the combined production of charcoal and electricity through cogeneration. **Biomass and Bioenergy**, v. 69, p. 222–240, 2014.

WANDERLEY, C. DA S.; DE FARIA, R. T.; VENTURA, M. U. Chemical fertilization, organic fertilization and pyrolygneous extract in the development of seedlings of areca

bamboo palm (*Dyopsis lutescens*). **Acta Scientiarum**, v. 34, n. 2, p. 163–167, 2012.

WANG, H. F. et al. Effect of bamboo vinegar as an antibiotic alternative on growth performance and fecal bacterial communities of weaned piglets. **Livestock Science**, v. 144, n. 1–2, p. 173–180, 2012.

WHARTON, D. A. The production and functional morphology of helminth egg-shells. In: **Parasitology**. Cambridge University Press. v.86, n.4, p.85–97, 1983.

WILLIAMS, A. R. et al. Assessment of the anthelmintic activity of medicinal plant extracts and purified condensed tannins against free-living and parasitic stages of *Oesophagostomum dentatum*. **Parasites & Vectors**, v. 7, n. 1, p. 518, 2014.

WU, Q. et al. Bioresource Technology Study on the preparation of wood vinegar from biomass residues by carbonization process. **Bioresource Technology**, v. 179, p. 98–103, 2015.

YANG, H. et al. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v. 86, p. 1781–1788, 2007.

YANG, J. et al. Chemical composition, antioxidant and antibacterial activity of wood vinegar from *Litchi chinensis*. **Molecules**, v. 21, n. 1150, p. 10, 2016.

ZEFERINO, I.; LIMA, E. A. DE; VIEIRA, E. S. N. **Uso do extrato pirolenhoso como adjuvante de herbicida**. Colombo, Paraná. Embrapa Florestas: [s.n.].