



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA QUÍMICA

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE DESTINAÇÃO DO LODO DE PISCICULTURA
PARA DIFERENTES APLICAÇÕES A PARTIR DA SUA COMPOSIÇÃO**

**ANA CAROLINA JACOMINI
ANA JULIA PIMENTEL LOEBEL**

Foz do Iguaçu
2025

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE DESTINAÇÃO DO LODO DE PISCICULTURA
PARA DIFERENTES APLICAÇÕES A PARTIR DA SUA COMPOSIÇÃO**

ANA CAROLINA JACOMINI

ANA JULIA PIMENTEL LOEBEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dr^a Kátya Regina de Freitas Zara

Coorientadora: Profa. Dr^a Janine Padilha Botton


Foz do Iguaçu
2025

ANA CAROLINA JACOMINI
ANA JULIA PIMENTEL LOEBEL


ANÁLISE DO POTENCIAL DE DESTINAÇÃO DO LODO DE PISCICULTURA PARA DIFERENTES APLICAÇÕES A PARTIR DA SUA COMPOSIÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **KATYA REGINA DE FREITAS ZARA**
Data: 10/02/2026 15:57:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Orientadora: Profa. Dr^a Kátya Regina de Freitas Zara
UNILA

Documento assinado digitalmente
 **JANINE PADILHA BOTTON**
Data: 06/02/2026 18:29:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Coorientadora: Profa. Dr^a Janine Padilha Botton UNILA

Documento assinado digitalmente
 **CESAR ADOLFO RODRIGUEZ SOTOMONTE**
Data: 09/02/2026 10:28:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. César Adolfo Rodriguez Sotomonte UNILA

Documento assinado digitalmente
 **GLAUCIO JOSE GOMES**
Data: 10/02/2026 14:32:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Glaucio Jose Gomes UNILA

Documento assinado digitalmente
 **KATHLEEN DALL BELLO DE SOUZA RISSON**
Data: 10/02/2026 06:43:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dr^a Kathleen Dall Bello de Souza Risson IFPR
– Campus Foz do Iguaçu – PR

Foz do Iguaçu, 12 de dezembro de 2025.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Ana Carolina Jacomini, Ana Julia Pimentel Loebel

Curso: Engenharia Química

	Tipo de Documento
<input checked="" type="checkbox"/> graduação	(... ..) artigo
<input type="checkbox"/> especialização	<input checked="" type="checkbox"/> trabalho de conclusão de curso
<input type="checkbox"/> mestrado	(... ..) monografia
<input type="checkbox"/> doutorado	(... ..) dissertação
	(... ..) tese
	(... ..) CD/DVD – obras audiovisuais
	(... ..) _____

Título do trabalho acadêmico: **ANÁLISE DO POTENCIAL DE DESTINAÇÃO DO LODO DE PISCICULTURA PARA DIFERENTES APLICAÇÕES A PARTIR DA SUA COMPOSIÇÃO**

Nome do orientador(a): Prof^a.Dr^a. Kátya Regina de Freitas Zara

Data da Defesa: 12/12/2025

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons* **Licença 3.0 Unported**.

Foz do Iguaçu, _____ de _____ de _____.

Assinatura do Responsável

Dedicamos este trabalho à Helena. Apenas uma criança como você teria a empatia e nível de compreensão para aguentar os anos de espera. Você é a nossa motivação diária, e todas as nossas conquistas pertencem a você também.

AGRADECIMENTOS

Eu, Ana Carolina, agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado forças nos momentos da graduação em que julguei não ser capaz. Aos meus familiares, que mesmo distantes não mediram esforços para me dar apoio, segurança e conforto. Em especial, Isabel, Douglas, Helena e Ana Clara, que acompanharam de perto essa jornada, servindo de alicerce. À minha companheira de curso e de vida, Ana Julia, que esteve comigo em todos os momentos, por mais desafiadores que fossem. À minha família de Foz, Isabela e Nickolas, que me acolheram por inteiro. Às minhas amigas de graduação, Laura e Montejano, que seguiram ao meu lado desde o princípio. Aos amigos Ícaro e Isaías, que além de compartilharem momentos marcantes, também me ajudaram nas fases difíceis.

Eu, Ana Julia, agradeço a Deus, que me permitiu chegar até aqui. Ele foi minha base, me deu força e mostrou o caminho em meio aos momentos difíceis. Sou grata também aos meus familiares: minha mãe, Clélia, que dedicou parte de sua vida à criação de suas filhas; e meu pai, Gilberto, que sempre prezou pelos meus estudos. Em especial, agradeço à minha irmã, Isabela, que me mostra diariamente que não importa o tamanho da minha conquista ou da queda, ela sempre estará vibrando por mim ou me ajudando a recomeçar. Ao Nickolas, por topar as aventuras que ajudaram na conquista desse título. À minha companheira, Ana Carolina, que me apoia em todos os momentos, por mais exaustivos e conturbados que sejam, e que, principalmente, me incentiva a voar alto ao mesmo tempo que é o chão nos momentos em que preciso descansar. Agradeço também à Helena, que me mostrou uma nova maneira de amor e que passou a ser uma inspiração para as minhas conquistas. Sou grata a todos os professores que me ajudaram nessa jornada e ofereceram conselhos que contribuíram com minha formação acadêmica e profissional. E também aos meus amigos, que tornaram os momentos da graduação mais leves, especialmente ao Ícaro, que sempre esteve presente e transformou esses anos em momentos de boas risadas.

Em conjunto, agradecemos às nossas orientadoras, que aceitaram o desafio e missão de nos ajudar nessa etapa. Por todas as sugestões, conversas e mentoria, muito obrigada. A ajuda de vocês contribuiu integralmente para as profissionais que seremos.

*Só se pode alcançar um grande êxito quando nos
mantemos fiéis a nós mesmos.*

Friedrich Nietzsche

JACOMINI, Ana Carolina. LOEBEL, Ana Julia Pimentel. Análise do potencial de destinação do lodo de piscicultura para diferentes aplicações a partir da sua composição. 73p. Graduação (Bacharelado em Engenharia Química) – UNILA, Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Foz do Iguaçu, 2025.

RESUMO

A expansão da piscicultura no Brasil contribui com a produção de proteína e também com impactos ambientais, sendo um deles os lodos acumulados nos fundos dos viveiros, que devem ser removidos no final de cada ciclo produtivo para garantir a qualidade sanitária do ambiente aquático. A destinação desse resíduo sólido precisa estar alinhada ao Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), para atender as questões sustentáveis pertinentes à produção aquícola. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade de reaproveitamento de lodo de piscicultura como material adsorvente, fertilizante e incorporação em cerâmica vermelha. O lodo *in natura* foi coletado de um tanque escavado usado para sistema intensivo de tilápia. Após preparação, por secagem, moagem e peneiramento, foram realizadas as análises de sólidos fixos e voláteis, análise elementar, Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raio X (EDS), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), limite de liquidez e plasticidade, índice de plasticidade e propriedades de valor agronômico. Os resultados indicaram elevada fração mineral, baixo teor de carbono total e morfologia pouco porosa. Portanto, dentre as proposições de destinação estudadas para uso como: a) material adsorvente apresenta baixa viabilidade, b) fertilizante é viável, e c) incorporação em cerâmica vermelha apresenta viabilidade moderada a alta, de acordo com as características necessárias do produto final.

Palavras-chave: resíduo sólido; sustentabilidade; fertilizante; material adsorvente; cerâmica vermelha.

JACOMINI, Ana Carolina. LOEBEL, Ana Julia Pimentel. Análisis del potencial de destino del lodo de piscicultura para diferentes aplicaciones a partir de su composición. 73h. Trabajo de Fin de Grado (Bachiller en Ingeniería Química) – UNILA, Universidad Federal de la Integración Latinoamericana. Foz do Iguaçu, 2025.

RESUMEN

La expansión de la piscicultura en Brasil contribuye a la producción de proteína y también genera impactos ambientales, siendo uno de ellos los lodos acumulados en el fondo de los estanques, los cuales deben ser removidos al final de cada ciclo productivo para garantizar la calidad sanitaria del ambiente acuático. La disposición de este residuo sólido debe estar alineada con el Plan Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), a fin de atender las cuestiones de sostenibilidad relacionadas con la producción acuícola. Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la viabilidad del reaprovechamiento del lodo de piscicultura como material adsorbente, fertilizante y como incorporación en cerámica roja. El lodo *in natura* fue recolectado de un estanque excavado utilizado en un sistema intensivo de cultivo de tilapia. Tras su preparación mediante secado, molienda y tamizado, se realizaron análisis de sólidos fijos y volátiles, análisis elemental, Espectroscopía de Energía Dispersiva de Rayos X (EDS), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), límite de liquidez y plasticidad, índice de plasticidad y propiedades de valor agronómico. Los resultados indicaron una elevada fracción mineral, bajo contenido de carbono total y una morfología poco porosa. Por lo tanto, entre las propuestas de destino estudiadas, el uso como: a) material adsorbente presenta baja viabilidad, b) fertilizante es viable, y c) incorporación en cerámica roja presenta viabilidad moderada a alta, de acuerdo con las características requeridas del producto final.

Palabras-clave: residuo sólido; sostenibilidad; fertilizante; material adsorbente; cerámica roja.

JACOMINI, Ana Carolina. LOEBEL, Ana Julia Pimentel. Analysis of the potential uses of fish farming sludge for different applications based on its composition. 73p. Undergraduate Thesis (Bachelor's Degree in Chemical Engineering) – UNILA, Federal University for Latin American Integration. Foz do Iguaçu, 2025.

ABSTRACT

The expansion of fish farming in Brazil contributes to protein production while also generating environmental impacts, one of which is the accumulation of sludge at the bottom of ponds. This sludge must be removed at the end of each production cycle to ensure the sanitary quality of the aquatic environment. The disposal of this solid waste must be aligned with the National Solid Waste Policy (PNRS) and the Sustainable Development Goals (SDGs) in order to address sustainability issues related to aquaculture production. Therefore, the present study aims to evaluate the feasibility of reusing fish farming sludge as an adsorbent material, fertilizer, and as an additive in red ceramics. The *in natura* sludge was collected from an excavated pond used in an intensive tilapia farming system. After preparation through drying, grinding, and sieving, analyses of fixed and volatile solids, elemental analysis, Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS), Scanning Electron Microscopy (SEM), liquid and plastic limits, plasticity index, and agronomic value properties were conducted. The results indicated a high mineral fraction, low total carbon content, and a low-porosity morphology. Therefore, among the evaluated disposal alternatives, the use as: (a) an adsorbent material showed low feasibility; (b) a fertilizer was feasible; and (c) incorporation into red ceramics showed moderate to high feasibility, depending on the required characteristics of the final product.

Keywords: solid waste; sustainability; fertilizer; adsorbent material; red ceramics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Porcentagens de produção de peixes em relação à produção nacional.....	21
Figura 2 – Fluxograma para classificação de resíduos sólidos.....	24
Figura 3 – Representação do processo de adsorção.....	29
Figura 4 – Processo de fabricação de cerâmica vermelha.....	38
Figura 5 – Imagem de satélite da propriedade.....	42
Figura 6 – Tanque seco onde foi realizada a coleta do lodo de piscicultura.....	43
Figura 7 – Etapas para preparo do lodo de piscicultura.....	43
Figura 8 – Secagem natural do lodo de piscicultura.....	44
Figura 9 – Micrografias eletrônicas do lodo de piscicultura.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Destinações aplicadas para lodos de diferentes procedências.....	28
Quadro 2 – Classificação dos nutrientes.....	32
Quadro 3 – Classificação de fertilizantes.....	33
Quadro 4 – Plano nacional de fertilizantes.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de monitoramento da qualidade da água.....	21
Tabela 2 – Propriedades agronômicas de lodos de piscicultura.....	25
Tabela 3 – Análise elementar e de sólidos fixos e voláteis de lodos de estações de tratamento utilizados para produção de carvão ativado.....	31
Tabela 4 – Propriedades físicas de lodos de ETA utilizados na fabricação de materiais da construção civil.....	40
Tabela 5 – Composição química de lodos utilizados na fabricação de cerâmica vermelha.....	41
Tabela 6 – Resultados da análise elementar do lodo de piscicultura.....	49
Tabela 7 – Sólidos fixos e voláteis do lodo de piscicultura.....	50
Tabela 8 – Composição química do lodo de piscicultura determinada por EDS.....	50
Tabela 9 – Comparativo entre as propriedades de valor agrônômico.....	53
Tabela 10 – LL, LP e IP do lodo de piscicultura.....	54

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAQI	Central de Análises Químicas Instrumentais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
EDS	<i>Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto/Efluentes
FEAM	Fundação Estadual de Meio Ambiente
FIEMG	Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
GAC	<i>Granular Activated Carbon</i>
GTI-PNF	Grupo de Trabalho Interministerial - Plano Nacional de Fertilizantes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
IP	Índice de Plasticidade
LL	Limite de Liquidez
LMEV	Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura
LP	Limite de Plasticidade
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NBR	Normas Brasileiras
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PAC	<i>Powdered Activated Carbon</i>
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SDA	Secretaria de Defesa Agropecuária
SENAR	Serviço Nacional de Aprendizagem Rural
SF	Sólidos Fixos
SV	Sólidos Voláteis

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 JUSTIFICATIVA.....	18
1.2 QUESTÃO DE PESQUISA.....	19
1.3 OBJETIVOS.....	19
1.3.1 Geral.....	19
1.3.2 Específicos.....	19
2 REVISÃO TEÓRICA.....	20
2.1 PISCICULTURA.....	20
2.1.1 Qualidade Da Água Na Piscicultura.....	21
2.1.2 Lodo De Piscicultura.....	23
2.1.2.1 <i>Classificação conforme legislação</i>	23
2.1.2.2 <i>Características</i>	24
2.1.2.3 <i>Destinação</i>	26
2.2 DESTINAÇÃO DE LODOS.....	27
2.2.1 Produção De Material Adsorvente.....	27
2.2.2 Fertilizantes.....	31
2.2.2.1 <i>Panorama no Brasil</i>	34
2.2.2.2 <i>Uso de lodo</i>	36
2.2.2.3 <i>Legislação</i>	37
2.2.3 Produção De Cerâmicas Vermelhas.....	38
3 METODOLOGIA.....	41
3.1 COLETA E PREPARAÇÃO DO LODO DE PISCICULTURA.....	42
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE PISCICULTURA.....	44
3.2.1 Caracterização Física.....	45
3.2.1.1 <i>Determinação dos sólidos fixos e voláteis</i>	45
3.2.1.2 <i>Limite de liquidez</i>	46
3.2.1.3 <i>Limite e índice de plasticidade</i>	46
3.2.2 Caracterização Química.....	47

3.2.2.1 <i>Análise elementar</i>	47
3.2.2.2 <i>Variáveis de valor agrônomo</i>	47
3.2.3 Caracterização Morfológica.....	47
3.3 POTENCIAIS DE APLICAÇÃO DO LODO.....	47
3.3.1 Produção De Carvão Ativado.....	48
3.3.2 Fertilizante.....	48
3.3.3 Produção De Cerâmicas Vermelhas.....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1 PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO.....	49
4.2 FERTILIZANTE.....	52
4.3 PRODUÇÃO DE CERÂMICAS VERMELHAS.....	54
5 CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem apresentado expansão da atividade de piscicultura, atingindo a produção total de 655,3 mil toneladas de peixes em 2023, sendo o Paraná líder nacional, contribuindo com 26,2 % (IBGE, 2024). O crescente aumento na produção deste tipo de proteína, em tanques escavados, requer remoção do lodo no fundo do viveiro, ao final de cada ciclo, visando garantir a qualidade do ambiente aquático.

Esse lodo contém resíduos de inúmeras procedências, como restos da ração de alimentação (que varia a composição e quantidade dependendo da fase de desenvolvimento dos peixes), fezes, plânctons em decomposição, microorganismos e detritos provindos de erosão e transportados pelo ar. Todo este material compõe os sedimentos que acumulam-se no fundo dos viveiros e formam o lodo da piscicultura (Silva, 2017). Silva *et al.* (2019) informam que há um desconhecimento acerca das propriedades desse lodo, como concentração de nutrientes e matéria orgânica presente, entretanto, garantem que os nutrientes inseridos no ciclo da piscicultura são passíveis de causar impactos ambientais.

Alguns estudos indicam o uso do lodo de piscicultura como fertilizante, substrato e condicionador de solo, como alternativas para o gerenciamento desse resíduo (Silva, 2017; Alves *et al.*, 2022; Oliveira e Hojo, 2024). Análogo a outros tipos de lodo, tais como os provenientes de Estações de Tratamento de Água (ETA) e Estações de Tratamento de Esgoto/Efluentes (ETE), além do uso agrícola como fertilizante, também há possibilidade de uso como material adsorvente e incorporação em materiais cerâmicos (Begali *et al.*, 2019; Lobo *et al.*, 2020; Oliveira e Gonçalves, 2023).

Entre os materiais adsorventes que podem ser produzidos, o carvão ativado destaca-se como um dos mais utilizados. É obtido de um material microcristalino de alto teor de carbono, que passa por processos físicos e químicos, para aumentar sua porosidade interna (Ramos *et al.*, 2009).

No setor cerâmico, a incorporação de lodos à argila é uma opção recorrente, devido à capacidade da flexibilidade da indústria em aceitar novos componentes na matéria-prima (Araújo, 2008). Diversos estudos mencionam a viabilidade de utilização de lodos de ETE em massas cerâmicas para a produção de cerâmica vermelha, com destaque para misturas contendo 5, 10, 15 e 20 % do resíduo (Silva *et al.*, 2021). Essa prática contribui para a redução da extração de recursos naturais não renováveis e possibilita uma destinação ambientalmente adequada dos resíduos (Rodrigues e Carneiro, 2023). Um exemplo

internacional que reforça essa tendência é o Japão, onde 48 % do lodo de esgoto gerado é destinado à fabricação de materiais de construção (Chang *et al.*, 2020).

Dessa forma, a investigação das possíveis aplicações de lodo de piscicultura, tais como fonte de nutrientes para cultivo vegetal, produção de material adsorvente e produção de cerâmica torna-se relevante. Essa prática contribui para o reaproveitamento do resíduo, bem como promove a mitigação de impactos ambientais decorrentes de sua disposição inadequada.

1.1 JUSTIFICATIVA

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece diretrizes relacionadas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólidos considerando a ordem de prioridade de: a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada (Brasil, 2010). Portanto, o lodo proveniente da piscicultura intensiva em tanques escavados pode ser classificado como um resíduo sólido agrossilvopastoril pela PNRS. A disposição final do lodo é um dos problemas enfrentados na piscicultura (Silva, 2017), que requer ser gerenciado considerando o menor impacto ambiental possível.

Corroborando com a PNRS, o objetivo 12, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU, 2015), que diz respeito à garantia dos padrões de consumo e produção sustentáveis, especificamente em sua meta 12.5 a preocupação com reduzir a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.

Diante disso, levando em conta o crescimento da atividade de piscicultura intensiva no Brasil, e consequente aumento da geração de lodo, é de extrema importância que sejam pesquisadas e desenvolvidas tecnologias que visem reciclagem e reutilização do resíduo para agregar valor, garantindo a sustentabilidade na cadeia produtiva.

O conhecimento da existência de nutrientes no lodo colabora para o emprego do material como fertilizante, contudo, não há consenso do fim que deve ser dado a esse material (Silva *et al.*, 2019).

Investigar a viabilidade da aplicação do lodo de piscicultura em setores já consolidados – ou em expansão – no reaproveitamento de resíduos, como a produção de fertilizantes, materiais adsorventes e de cerâmica vermelha, mostra-se uma estratégia promissora para conferir maior valor ao lodo. Essa abordagem permite a exploração de

perspectivas até então não estudadas, bem como promove a sustentabilidade e a economia circular nos setores produtivos envolvidos.

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

Considerando a crescente geração de lodo pela piscicultura intensiva e a necessidade de atender a legislação ambiental para disposição ambientalmente correta de resíduos, tem-se como questão de pesquisa: *“Quais critérios podem ser utilizados para definir a viabilidade das alternativas de valorização do lodo como material adsorvente, fertilizante e incorporação em cerâmica?”*

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Geral

O presente trabalho tem como objetivo realizar a caracterização físico-química e morfológica do lodo para definir a viabilidade das alternativas de valorização como material adsorvente, fertilizante e incorporação em cerâmica.

1.3.2 Específicos

Para atingir o objetivo geral tem-se como objetivos específicos:

- determinar a composição química do lodo de piscicultura, a fim de investigar o potencial do lodo como material adsorvente;
- determinar os nutrientes presentes no lodo, visando o uso como fertilizante;
- estudar a plasticidade do lodo, de modo a verificar a viabilidade de incorporação do material na produção de cerâmica vermelha.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 PISCICULTURA

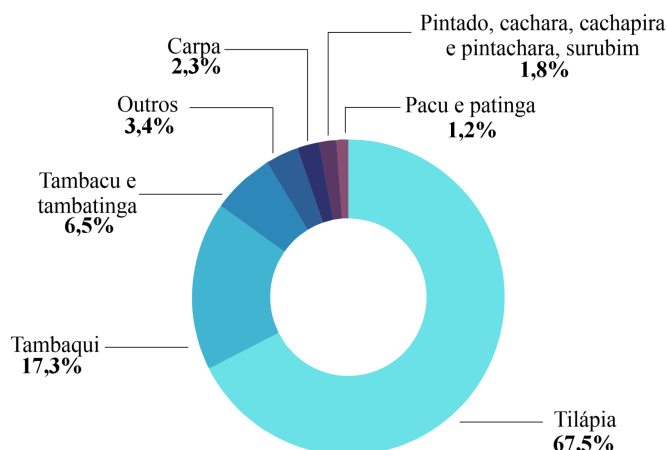
A piscicultura trata-se de uma atividade aquícola na qual peixes são produzidos em ambientes controlados (SENAR, 2017). No Brasil, a classificação do sistema de produção normalmente é realizada conforme a produtividade e pode ser subdividido em intensivo, semi-intensivo e extensivo (Vidal, 2016).

A piscicultura extensiva é caracterizada pela disposição dos peixes em lagos ou represas, sem o fornecimento de ração aos peixes e policultivo (Lopes, 2012; Vidal, 2016). A piscicultura semi-intensiva ocorre em lagos ou represas, contudo, há fornecimento de alimentos aos peixes e a produtividade é maior (Lopes, 2012; Vidal, 2016). E no sistema intensivo utiliza-se viveiros específicos para criação de peixes, tais como tanques-redes ou gaiolas, e há alta produtividade por metro quadrado (Lopes, 2012; Vidal, 2016).

Por possuir uma grande área territorial e extensa bacia hidrográfica, o Brasil possui um grande potencial aquícola (Carra, 2017). Nos últimos anos tem-se observado expansão da piscicultura, sendo que a produção de peixes em 2023 cresceu 16,8 % em relação ao ano anterior, atingindo o total de 655,3 mil toneladas (IBGE, 2024). Na qual a região Sul foi responsável por 34,7 % da produção brasileira, sendo o Paraná, o líder da produção nacional com 26,2 % (IBGE, 2024).

As porcentagens da contribuição de diferentes espécies na produção nacional podem ser observadas na Figura 1. Nota-se que a tilápia foi o peixe mais produzido (67,5 %) na produção nacional, com cerca de 442,3 mil toneladas (IBGE, 2024). Segundo Schuler e Filho (2017), um dos principais pólos produtores de tilápia no Brasil está localizado no norte e oeste do Paraná e sua produção é realizada em viveiros escavados. Outros peixes como tambaqui, tambacu e tambatinga também estão dentre as demais espécies produzidas no Brasil. Esses peixes são produzidos majoritariamente nas regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste do país, em viveiros escavados ou barragens (Pedroza Filho *et al.*, 2016).

Inúmeros fatores influenciam a produtividade de peixes, sendo a qualidade da água um aspecto diretamente ligado ao desenvolvimento e qualidade desses animais. Dessa forma, o entendimento do sistema aquático da piscicultura é essencial para otimizar o processo de produção e garantir a sustentabilidade da atividade.

Figura 1 – Percentagens de produção de peixes em relação à produção nacional

Fonte: adaptado de IBGE, 2024.

2.1.1 Qualidade Da Água Na Piscicultura

O controle de qualidade da água é uma das práticas que garante o sucesso da piscicultura. Alguns dos principais parâmetros de monitoramento são: temperatura, pH, alcalinidade, transparência, oxigênio dissolvido, dureza, amônia e nitrito (Lopes, 2012). A Tabela 1 apresenta os valores ideais desses parâmetros.

Tabela 1 – Parâmetros de monitoramento da qualidade da água

Parâmetro	Unidade	Valor Ideal	Autor
Temperatura	°C	26 a 28	Borges, 2009
pH	-	6,5 a 8,0	Lopes, 2012; SENAR, 2017
Alcalinidade	mg/L	superior a 20	Lopes, 2012
Transparência	cm	40 a 60	SENAR, 2017
Oxigênio dissolvido	mg/L	acima de 3	Leira <i>et al.</i> , 2017; SENAR, 2017
Dureza	mg/L	acima de 40	Lopes, 2012
Amônia	mg/L	abaixo de 0,1	Leira <i>et al.</i> , 2017
Nitrito	mg/L	abaixo de 0,03	Lima <i>et al.</i> , 2013

Fonte: as autoras, 2025.

Cada parâmetro apresentado na Tabela 1, influencia de forma diferente o desenvolvimento dos peixes e conseqüentemente a conversão da alimentação em proteína. A temperatura afeta as características físicas e químicas da água e, portanto, o metabolismo dos

peixes. De acordo com a Tabela 1, para a tilápia, peixe mais produzido no Brasil, a faixa de temperatura ideal é entre 26 a 28 °C (Borges, 2009).

O pH ideal para água utilizada na piscicultura é entre 6,5 e 8,0, podendo sofrer alterações ao longo do dia, contanto que respeite o limite de variação de 2 unidades, a fim de evitar mortalidade e comprometimento do desenvolvimento dos peixes (Lopes, 2012; SENAR, 2017). A alcalinidade auxilia no controle do pH da água e indica a quantidade de carbonato de cálcio (CaCO_3) presente, sendo influenciada pela dissolução do calcário dos solos (Figueiredo *et al.*, 2017). Para a piscicultura, é recomendado que a alcalinidade da água apresente valores superiores a 20 mg/L (Lopes, 2012).

A transparência, por sua vez, é medida através do disco de Secchi e refere-se à capacidade de penetração da luz na água, sendo influenciada pela presença de plantas aquáticas, profundidade do viveiro, fitoplânctons, entre outros (Lopes, 2012). É recomendado que a transparência da água esteja na faixa de 40 a 60 cm (SENAR, 2017). Segundo Lopes (2012), o oxigênio dissolvido é o parâmetro mais limitante da piscicultura, em que baixas concentrações podem acarretar em atraso no crescimento e mortalidade dos peixes. A principal forma de inserção do oxigênio nos sistemas aquáticos da piscicultura é por meio de mistura mecânica e, para bom crescimento dos peixes, é ideal que esse parâmetro esteja acima de 3 mg/L (Leira *et al.*, 2017; SENAR, 2017).

A dureza refere-se às concentrações dos íons cálcio e magnésio, combinados ao carbonato e bicarbonato. Para a água utilizada na piscicultura, recomenda-se valores acima de 40 mg/L (Lopes, 2012). Também é encontrada a amônia, um composto nitrogenado que se apresenta dissolvido na água, sendo proveniente da excreção dos peixes e alimentos não ingeridos. Valores elevados de amônia são tóxicos para os peixes e o recomendado é que esse parâmetro permaneça abaixo de 0,1 mg/L (Leira *et al.*, 2017). Enquanto o nitrito é uma substância tóxica produzida a partir da transformação da amônia pela ação de bactérias e é recomendado que seu valor seja mantido abaixo de 0,03 mg/L (Lima *et al.*, 2013).

Os parâmetros mencionados são diretamente influenciados pela quantidade de matéria orgânica presente no sistema, a qual tende a sedimentar e formar o lodo da piscicultura. Dessa forma, o controle efetivo desses parâmetros proporciona uma melhor qualidade da água, além de ser indicativo das características dos resíduos acumulados no fundo dos tanques.

2.1.2 Lodo De Piscicultura

O lodo de piscicultura é proveniente, em sua maioria, da alimentação fornecida aos peixes e fezes dos animais, com necessidade de remoção periódica (Kokou e Fountoulaki, 2018; Oliveira e Hojo, 2024). Ademais, o acúmulo de matéria orgânica nos sistemas de cultivo favorece o desenvolvimento de algas, que produzem compostos químicos responsáveis pelos *off-flavors*. Esses compostos podem ser absorvidos pelos peixes e comprometer a qualidade sensorial da carne destinada ao consumo (Mohammadi *et al.*, 2021; Fernandes *et al.*, 2025).

Além dos restos de alimentos e das fezes, plânctons em decomposição, microorganismos e detritos provindos de erosão e transportados pelo ar também compõem os sedimentos acumulados no fundo dos viveiros (Silva, 2017). Para estimar a produção de lodo, considera-se que aproximadamente 30 % do alimento fornecido aos peixes torna-se resíduo sólido (Dauda *et al.*, 2019). Além disso, ao modelar a geração de resíduos na produção de tilápia em gaiolas, Bueno *et al.* (2023) estimaram 320 kg de resíduos sólidos gerados por tonelada de tilápia produzida.

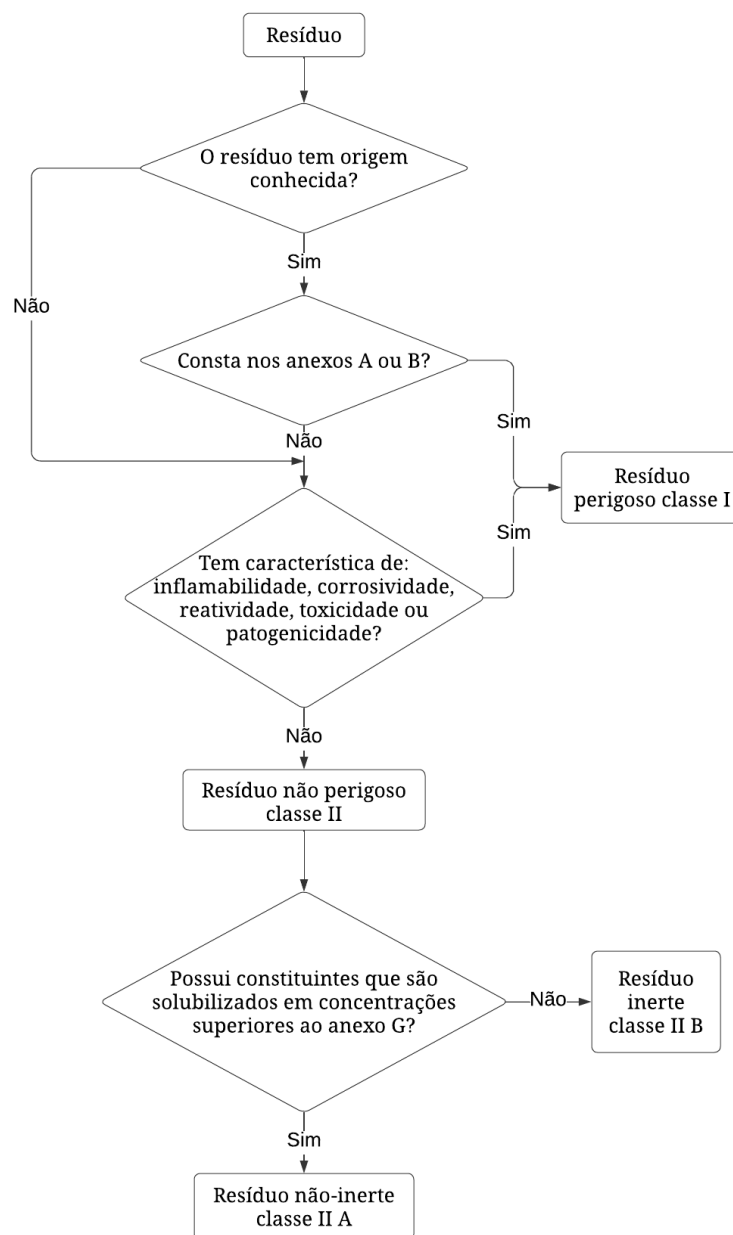
Dessa forma, a produção de 442,3 mil toneladas de tilápia no estado do Paraná em 2023 (IBGE, 2024), realizada em tanques escavados (Schulter e Filho, 2017), resulta na geração anual de cerca de 141,54 mil toneladas de lodo de piscicultura.

2.1.2.1 Classificação conforme legislação

O lodo de piscicultura é definido como um resíduo sólido pela ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação (ABNT, 2004). E pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010), é considerado um resíduo sólido agrossilvopastoril.

Segundo a norma ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação (ABNT, 2004), os resíduos sólidos são classificados conforme o fluxograma apresentado na Figura 2. Portanto, se o lodo de piscicultura for analisado seguindo o fluxograma, tem-se que é um resíduo sólido de origem conhecida que não consta nos anexos A ou B e nem possui características perigosas, portanto pode ser considerado um resíduo não perigoso classe II. Ademais, os seus constituintes são solubilizados em concentrações superiores ao anexo G da norma, tornando-o um resíduo não-inerte classe II A.

Figura 2 – Fluxograma para classificação de resíduos sólidos



Fonte: adaptado de ABNT, 2004.

2.1.2.2 Características

Segundo Oliveira e Hojo (2024), o lodo de piscicultura é um material rico em matéria orgânica e nutrientes essenciais que podem contribuir positivamente para o desenvolvimento vegetal. Hepp *et al.* (2012) afirmam que, pelo fato de a piscicultura ser um processo que envolve organismos vivos, há uma diversidade de fatores que podem influenciar na composição final do lodo, tais como: fase de produção, tipo de ração utilizada, o manejo

realizado e o tipo de criação adotado. Assim, a variabilidade dessas condições interfere diretamente nas propriedades físicas e químicas do material, afetando seus potenciais de aplicação.

Nesse contexto, a caracterização física do material torna-se fundamental para compreender seu comportamento e possíveis usos. Silva *et al.* (2025), determinaram, ao analisar a mistura de lodos provenientes de tanques escavados utilizados para criação de tambaqui e pirarucu, que a umidade média do material foi 94,2 %, enquanto que a composição de areia, silte e argila foi, 2,1; 35,7 e 62,9 %, respectivamente. Dessa forma, afirma-se que o lodo coletado pelos autores apresentava uma umidade alta e composição predominantemente argilosa.

Tratando-se da caracterização química, pode-se caracterizar o material quanto à qualidade química para fins agrônômicos, bem como pelos teores totais de elementos (Silva *et al.*, 2025). Na Tabela 2 pode-se observar os valores de variáveis de valor agrônômico para lodos de piscicultura.

Tabela 2 – Propriedades agrônômicas de lodos de piscicultura

Atributo	Silva, Costa e Pereira, 2025	Hojo <i>et al.</i> , 2024	Oliveira e Hojo, 2024	Melo <i>et al.</i> , 2022
pH CaCl ₂	5,00	-	-	-
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,008	0,00	0,00	0,00
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	2,36	4,28	4,00	2,30
Sat. Al (%)	-	0,00	0,00	-
Sat. base (%)	-	77,32	86,36	-
Soma de bases (cmol dm ⁻³)	-	14,59	14,59	4,70
MO (%)	2,69	2,47	-	4,16
CTC (pH 7) (cmol _c dm ⁻³)	5,30	18,87	29,33	-
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,27	10,16	16,87	2,83
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,63	4,06	6,75	1,72
K ⁺ (mg dm ⁻³)	39,70	132,94	586,50	22287,00
P (mg dm ⁻³)	63,5	431,83	275,99	-
SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³)	13,14	-	-	-
B (mg dm ⁻³)	0,27	-	-	0,27
Cu ²⁺ (mg dm ⁻³)	0,40	19,10	22,87	5,70
Fe ²⁺ (mg dm ⁻³)	405,80	811,90	537,59	492,00
Mn ²⁺ (mg dm ⁻³)	2,64	210,80	660,79	88,00
Zn ²⁺ (mg dm ⁻³)	11,41	21,40	31,33	15,69

Fonte: as autoras, 2025.

Os dados mostrados na Tabela 2 corroboram com o trabalho de Hepp *et al.* (2012), sobre a alta variabilidade da composição do lodo, uma vez que nota-se diferentes faixas de valores para um mesmo parâmetro. Ainda assim, os valores apresentados tornam o lodo de piscicultura um potencial fertilizante devido ao alto teor de nutrientes.

Além disso, independente da possível variação nas concentrações de nutrientes no lodo, a intensificação dos nutrientes durante o ciclo da piscicultura é passível de causar impactos ambientais. Dessa forma, considerando que os sedimentos acumulados precisam ser removidos de forma periódica, faz-se necessário o estudo e aplicação de técnicas adequadas para o manejo do lodo gerado na piscicultura.

2.1.2.3 Destinação

A PNRS estabelece como um de seus objetivos a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos (Brasil, 2010). Ademais, a ONU defende nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especificamente no ODS 12, a garantia dos padrões de consumo e produção sustentáveis, incluindo a necessidade de reduzir a geração de resíduos, por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso (ONU, 2015). Nesse contexto, a gestão adequada do lodo de piscicultura é uma atividade necessária para alcançar a sustentabilidade no sistema de produção.

Os resíduos da piscicultura, mal manejados, podem causar sérios danos ao meio ambiente, por isso seu manejo correto é uma necessidade para garantir a saúde do meio ambiente e da sociedade. Alves *et al.* (2022) ressalta que a reutilização de resíduos agropecuários ajuda a prevenir a degradação ao meio ambiente ao mesmo tempo que oferece ao produtor uma alternativa para retornos econômicos, desde que aplicadas técnicas de manejo que agregam valor ao lodo.

Um exemplo de estudo para destinações sustentáveis do lodo de piscicultura foi desenvolvido por Silva (2017). O autor estudou o reuso de resíduo orgânico da piscicultura (lodo de tanques escavados) como condicionante de solo no semiárido e concluiu ser viável economicamente a produção de adubo organomineral. Enquanto Alves *et al.* (2022) estudaram o uso de lodo proveniente dos viveiros de cultivos de peixes na produção de mudas de Pitanga. Observaram que o material de baixo custo apresentou quantidade necessária de nutrientes para o bom desenvolvimento das plantas, podendo ser utilizado como substrato, fertilizante e condicionador de solo. Oliveira e Hojo (2024) estudaram a produção de mudas

de alface com lodo de tanque de piscicultura e concluíram que o substrato para as mudas apresentou resultados promissores. Apesar dessas pesquisas, Silva *et al.* (2019) afirmam que, por mais que exista uma variedade de informações acerca dos nutrientes presentes nos lodos de piscicultura, não há consenso da destinação que deve ser dada a esse material.

Além do uso como fertilizante, existem algumas alternativas de destinação para outros tipos de lodos, como os provindos de estações de tratamento, que poderiam ser estudadas de maneira análoga para lodo de piscicultura, como a produção de material adsorvente e cerâmicas. Estes usos permitiriam o reaproveitamento do resíduo ao mesmo tempo em que agregaria valor.

2.2 DESTINAÇÃO DE LODOS

A destinação de lodos provenientes de processos de tratamento de água, esgoto e efluente industrial configura-se como tema relevante para garantir a sustentabilidade e minimizar os impactos ambientais provenientes destes processos. Portanto, por serem resíduos estudados há algum tempo, inclusive com legislação específica sobre uso em solos, eles constituem um referencial confiável para pensar possíveis rotas de destinação final para o lodo de piscicultura.

O Quadro 1 apresenta as destinações, e os resultados obtidos, para os lodos provenientes de ETA, ETE, cinzas de lodo de ETE, lodo biológico da indústria de polpa celulósica e de indústria têxtil. O uso de lodo como precursor para esses materiais contribui para a sustentabilidade nas cadeias produtivas. Dentro das destinações mencionadas, algumas que recebem destaque são: produção de material adsorvente, uso como fertilizante, e substitutos parciais da argila na produção de cerâmica (Begali *et al.*, 2019; Oliveira e Gonçalves, 2023).

2.2.1 Produção De Material Adsorvente

A adsorção é um processo físico-químico, que possibilita a migração de componentes (adsorvato) presentes na fase líquida ou gasosa para a superfície de um sólido (adsorvente) (Rheinheimer, 2016). Quando a ligação química entre o adsorvente e o adsorvato é forte, as moléculas passam pelo processo de adsorção química, também chamado de quimissorção (Figura 3a), sendo este um processo irreversível (Guimarães, 2015; Cavalcanti, 2016; Nascimento *et al.*, 2020).

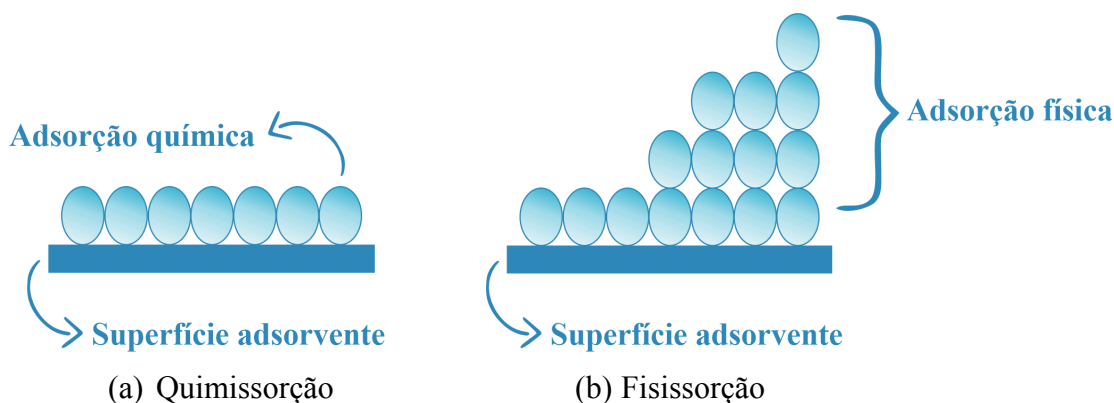
Quadro 1 – Destinações aplicadas para lodos de diferentes procedências

Material	Destinação	Resultados	Referência
Lodo de ETA	Incorporação em cimento Portland	A adição de até 20 % de lodo proporcionou cimento com bom desempenho	Alexandre e Luz, 2020
Lodo de ETA	Fertilizante	Possui nutrientes necessários para o desenvolvimento vegetal	Morselli <i>et al.</i> , 2022
	Camadas de aterro sanitário	Não pode ser utilizado sozinho, mas a mistura com solo local pode apresentar resultados promissores	
	Aplicação em solos contaminados e degradados	Elevado potencial de aplicação, devido ao alto potencial de adsorção de metais pesados e nutrientes	
Lodo de ETA	Incorporação em cerâmica vermelha	A adição de até 10 % de lodo proporcionou um produto final que atende os limites estabelecidos na legislação	Oliveira e Gonçalves, 2023
Lodo de ETE	Aplicação no solo para recuperação de área degradada	A adição de lodo ao solo proporcionou aumento dos macronutrientes do local	Silva <i>et al.</i> , 2024
Cinzas de lodo de ETE	Incorporação em cimento Portland	A adição de lodo nas proporções de 5 e 10 % gerou aumento na resistência à compressão	Veronese <i>et al.</i> , 2021
Lodo de ETE	Fertilização agrícola	A aplicação de lodo na agricultura agrega valor econômico positivo para as atividades agrícolas, podendo ser utilizado como adubo	Lins e Lima, 2022
Lodo biológico da indústria de polpa celulósica	Material adsorvente	O lodo é um material promissor para produção de adsorventes, proporcionando remoção de 90 % do corante azul de metileno em 1 hora	Begali <i>et al.</i> , 2019
Lodo biológico de indústria têxtil	Incorporação com biomassa vegetal para produção de briquetes	Os briquetes produzidos apresentaram resultados favoráveis para o uso em caldeiras, com poder calorífico próximo ao das biomassas geralmente usadas na geração de energia	Draeger <i>et al.</i> , 2021

Fonte: as autoras, 2025.

Por outro lado, a adsorção física, ou fisissorção, (Figura 3b) é um processo onde não há limitação pela área superficial do sólido adsorvente, em consequência disso, ocorre formação de multicamadas de moléculas. A ligação formada por meio deste tipo de adsorção é fraca e portanto, reversível (Guimarães, 2015; Cavalcanti, 2016; Nascimento *et al.*, 2020).

Figura 3 – Representação do processo de adsorção



Fonte: adaptado de Guimarães, 2015.

Devido a adsorção ser resultado das combinações de forças envolvidas na quimissorção e fisissorção, muitos fatores podem influenciar no processo, como exemplo a natureza do adsorvente e do adsorvato, a área superficial, a temperatura do sistema e o pH do meio (Cavalcanti, 2016; Nascimento *et al.*, 2020).

A área superficial influencia na intensidade de adsorção de forma proporcional, sendo que partículas menores proporcionam uma maior superfície específica disponível para adsorção (Sekar *et al.*, 2004). A temperatura é um fator importante, pois afeta a constante de velocidade de adsorção e diversos outros parâmetros, como solubilidade, potencial químico e estado de equilíbrio da adsorção (Nascimento *et al.*, 2014). Quanto ao efeito do pH, esse parâmetro determina a carga da superfície desse material e rege as interações eletrostáticas entre o adsorvente e adsorvato (Toledo *et al.*, 2005). Neste contexto, o carvão ativado se destaca como um dos materiais adsorventes mais utilizados, justamente por apresentar elevada área superficial e estrutura porosa que favorecem a eficiência do processo. Constituído especialmente por carbono, é muito utilizado na purificação de gases e líquidos, além de atuar como catalisador e na recuperação de produtos químicos (Derbyshire *et al.*, 2001; INT, 2017).

Embora seja muito utilizado no tratamento de efluentes (Oda, 2017; Ouhammou *et al.*, 2019; Bezerra *et al.*, 2019), o carvão ativado comercial possui um alto custo, devido ao uso de matérias-primas nobres como o carvão mineral. Por esse motivo, busca-se novos materiais alternativos, de baixo custo, para serem utilizados na produção desse componente (Begali *et al.*, 2019; Souza e Machado, 2020). Segundo Ramos (2009), alguns materiais como madeira, casca de coco, grão de café, bambu e outros que possuem teor de carbono elevado, podem ser convertidos em carvão ativado.

A preparação do carvão ativado geralmente inicia-se com o pré-tratamento da matéria prima estudada, envolvendo secagem, moagem e peneiramento (Filho *et al.*, 2020). Em seguida, realiza-se a pirólise do material e, posteriormente, ativação do carvão. A ativação pode ser executada de forma química e física, ambas em altas temperaturas. A ativação química é realizada por um agente desidratante, produzindo poros maiores, sendo mais adequada para a adsorção de fase líquida (Soares, 2001). Para a formação de microporos e aplicação em processo de adsorção gasosa, utiliza-se a ativação física, produzida por vapor de água. Posteriormente a sua ativação, o carvão pode apresentar diversas capacidades de adsorção (Soares, 2001; Cavalcanti, 2016).

Além disso, o carvão ativado é um material adsorvente que pode ser encontrado de duas formas: *Granular Activated Carbon* (Carvão Ativado Granular, GAC) ou *Powdered Activated Carbon* (Carvão Ativado em Pó, PAC). Segundo Nascimento *et al.* (2014), o carvão ativado em pó é mais aplicado para adsorção em fase líquida, enquanto que o carvão granular é empregado para adsorção de soluto em fase gasosa. Os autores também afirmam que, para o PAC, as propriedades mais relevantes são filtrabilidade e densidade, enquanto para o GAC, as propriedades mais importantes são a dureza e o tamanho das partículas. O carvão granular possui diâmetro maior que 0,1 mm e é empregado em colunas de leito fixo, enquanto o carvão em pó possui diâmetro menor que 200 mesh e é adicionado à solução em um leito de contato por certo período de tempo, para depois ser removido por meio de decantação ou filtração (Cavalcanti, 2009).

O reaproveitamento de lodos provenientes de ETA e ETE para produção de carvão ativado tem sido estudado como alternativa para as destinações convencionais, como aterros sanitários e incineração (Streit, 2021). Diversos trabalhos da literatura estudaram a produção de carvão ativado a partir de lodos, observando a eficiência na remoção de corantes (Reis *et al.*, 2015; Oda, 2017; Kulman, 2019; Begali *et al.*, 2019; Azevedo, 2024), enxofre (Lu e Lau, 1996; Nunthaprechachan *et al.*, 2013), metais (Pamuklogu e Kargi, 2007) e outros componentes (Rio *et al.*, 2005; Wen *et al.*, 2011).

A matéria-prima utilizada na produção de carvão ativado deve ser rica em carbono e apresentar baixo teor de matéria inorgânica (Couto, 2009; Werlang *et al.*, 2013). Dessa forma, na Tabela 3 pode-se observar resultados de análise elementar, sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV) realizados em lodos provenientes de estações de tratamento, que foram utilizados como precursores para carvão ativado.

Tabela 3 – Análise elementar e de sólidos fixos e voláteis de lodos de estações de tratamento utilizados para produção de carvão ativado

Referência	Procedência do lodo	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	SF (%)	SV (%)
Oda <i>et al.</i> , 2021	Indústria têxtil	39,20	5,51	9,31	-	34,83	65,17
Oda, 2017	Indústria têxtil e de papel	22,60	2,31	1,27	0,11	39,79	60,21
Viana, 2013	Esgoto	25,85	4,31	3,66	-	-	-
Azevedo, 2024	Indústria de laticínios	-	-	-	-	33,03	66,97
Mahapatra, Ramteke e Paliwal, 2012	Indústria de alimentos	41,40	4,70	3,50	1,00	28,20	71,80

Nota: C: carbono; H: hidrogênio; N: nitrogênio; S: enxofre; SF: sólidos fixos; SV: sólidos voláteis.
Fonte: as autoras, 2025.

Percebe-se na Tabela 3 que os lodos utilizados possuem, no mínimo, 20 % de carbono. Além disso, os SF, que representam a fração inorgânica do material (Lenz *et al.*, 2021), apresentaram valor máximo de 39,79 %. Com exceção do lodo caracterizado por Oda (2017), os materiais apresentados na Tabela 3 confirmaram a possibilidade de produção de carvão ativado a partir de lodo de estações de tratamento, resultando em carvões com alto potencial de adsorção.

2.2.2 Fertilizantes

Segundo Borges *et al.* (2021), os fertilizantes são definidos como compostos químicos, minerais ou orgânicos, podendo ser de origem natural ou sintética, combinados ou não. Além disso, eles necessitam conter um ou mais nutrientes empregados que atendam as exigências nutricionais das plantas.

Os nutrientes são elementos essenciais para a produção das plantas, sendo divididos em macronutrientes primários e secundários, e micronutrientes. A divisão dos nutrientes nas categorias é realizada de acordo com as diferenças de concentrações de cada elemento nos tecidos vegetais (Taiz *et al.*, 2017). O Quadro 2 apresenta os elementos químicos que se enquadram nas categorias de nutrientes.

Em virtude da importância dos macronutrientes primários para as plantas, estes são utilizados em quantidades elevadas no cultivo (Monte, 2022). O nitrogênio, fósforo e potássio são responsáveis pelo crescimento ideal das plantas, visto que possuem ação direta no DNA e RNA das células (Mendes, 2007; Loureiro *et al.*, 2008; Reetz, 2017).

Quadro 2 – Classificação dos nutrientes

Nutrientes		Elementos químicos	Relevância de uso
Macronutrientes	Primários	Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K)	Utilizados em quantidades elevadas
	Secundários	Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S)	São utilizados em quantidades menores em relação aos primários
Micronutrientes		Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Zinco (Zn), Cobalto (Co) e Silício (Si)	Utilizados em quantidades menores em relação aos secundários

Fonte: adaptado de Decreto nº 4.954/2004 e Monte (2022).

Com relação aos macronutrientes secundários, são utilizados em quantidades menores do que os primários, entretanto ainda consideravelmente maiores que os micronutrientes (Reetz, 2017; Monte, 2022). A deficiência de enxofre resulta em um baixo nível de carboidratos, ocasionando em uma redução da fotossíntese. Outro fator que contribui para a redução no processo de fotossíntese, é o baixo teor de cálcio (Mendes, 2007). Para o magnésio, o déficit é indicado pelo amarelamento entre as nervuras das folhas (Reetz, 2017).

Os micronutrientes, apesar de essenciais para o desenvolvimento das plantas, são necessários em quantidades muito pequenas (Reetz, 2017; Monte, 2022). Esses nutrientes contribuem para infinitas de reações metabólicas nos plantios.

Por conseguinte, dificilmente um solo irá fornecer todos os nutrientes requeridos em quantidades satisfatórias para atender a produtividade do cultivo. Diante disso, a deficiência deve ser suprimida por meio do uso de fertilizantes (Reetz, 2017). O Decreto nº 4.954 de janeiro de 2004 (Brasil, 2004), que define fertilizante como “substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes de plantas”, também apresenta a definição de outros fertilizantes de acordo com sua origem e composição (Quadro 3). Dentre as categorias previstas, destacam-se os fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais.

Os fertilizantes minerais são constituídos por compostos sem a presença de carbono, dentre eles, estão situados os nitrogenados, fosfatados, potássicos e sulfatados (Borges, 2021; Monte, 2022). Essa classe apresenta alta concentração de nutrientes disponíveis para absorção imediata pelas plantas, tornando o fertilizante de qualidade consistente (Dias e Fernandes, 2006). Contudo, sua produção não advém de fontes renováveis (Finatto *et al.*, 2013).

Quadro 3 – Classificação de fertilizantes

Tipo	Origem
Mineral	Produto de natureza mineral, natural ou sintético, obtido por processo físico, químico ou físico-químico, fornecedor de um ou mais nutrientes de plantas
Orgânico	Produto de natureza orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais
Mononutriente	Produto que contém um só dos macronutrientes primários
Binário	Produto que contém dois macronutrientes primário
Ternário	Produto que contém os três macronutrientes primários
Com outros macronutrientes	Produto que contém os macronutrientes secundários, isoladamente ou em misturas destes, ou ainda com outros nutrientes
Com micronutrientes	Produto que contém micronutrientes, isoladamente ou em misturas destes, ou com outros nutrientes
Mineral simples	Produto formado, fundamentalmente, por um composto químico, contendo um ou mais nutrientes de plantas
Mineral misto	Produto resultante da mistura física de dois ou mais fertilizantes minerais
Mineral complexo	Produto formado de dois ou mais compostos químicos, resultante da reação química de seus componentes, contendo dois ou mais nutrientes
Orgânico simples	Produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas
Orgânico misto	Produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas
Orgânico composto	Produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas
Organomineral	Produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos

Fonte: adaptado de Brasil, 2004.

Em contrapartida, os fertilizantes orgânicos originam-se, em sua maioria, de produtos de descarte (Reetz, 2017). O resíduo orgânico de origem animal ou vegetal, passa pelo processo de decomposição, resultando em matéria orgânica rica em nutrientes e de baixo custo (Reetz, 2017; Finatto *et al.*, 2013). Alguns dos adubos mais utilizados são os provenientes de compostagem, vermicompostagem, adubação verde, bem como biofertilizante (Finatto *et al.*, 2013).

O fertilizante orgânico, em relação ao mineral, possui disponibilidade de nutrientes variável, visto que não se tem controle absoluto sobre o processo de decomposição, tornando a qualidade inconsistente (Dias e Fernandes, 2006).

A classificação de organomineral define os fertilizantes resultantes de misturas de outros fertilizantes minerais e orgânicos (Dias e Fernandes, 2006). Ainda em comparação com os minerais, estes apresentam potencial químico reativo inferior, todavia, sua solubilização é gradativa no decorrer do cultivo, podendo tornar a eficiência agrônômica maior (Embrapa, 2025).

Segundo Borges (2021), as formas físicas dos fertilizantes podem ser distintas como pó, farelo, granulado e líquido. Essa característica influencia tanto na fluidez, ou seja, em sua capacidade de distribuição mecânica no local da aplicação, quanto na resistência física para armazenamento e transporte do produto (Dias e Fernandes, 2006).

Assim, com os principais tipos, classificações, características e relevância para o suprimento nutricional das plantas, torna-se importante a análise do cenário de produção e consumo desses insumos em território nacional. A compreensão desse panorama permite avaliar os desafios enfrentados pelo setor agrícola brasileiro e quais são as buscas por alternativas sustentáveis que garantem a eficiência na nutrição vegetal.

2.2.2.1 Panorama no Brasil

No Brasil, a característica dos solos são de elevada acidez e baixos teores de nutrientes importantes para o desenvolvimento vegetal. Por isso, se faz necessário o uso de corretivos agrícolas que preservem os aspectos químicos, físicos e biológicos do solo, contribuindo para uma melhoria de fertilidade (Borges, 2021). Esse fato justifica o país ocupar o posto de quarto consumidor mundial de fertilizantes (Borges, 2021; Brasil, 2022).

Entretanto, apesar do grande consumo de fertilizantes no Brasil, a produção não acompanha esse crescimento, fazendo com que o país importe mais de 80 % dos fertilizantes utilizados (Brasil, 2022). Diante disso, o agronegócio brasileiro enfrenta alta dependência das importações, tornando-o vulnerável às oscilações do mercado internacional (Borges, 2021; Brasil, 2022).

Um grande exemplo das oscilações enfrentadas foi observado nos anos de 2020 à 2022. Nesse período, as sacas do fertilizante NPK passaram de R\$ 1.968,00 no começo de 2020, para R\$ 2.454,00 no final de 2022, um aumento aproximado de 25 %. Levando em conta que os fertilizantes representam aproximadamente 40 % dos custos totais

na produção agrícola, esse aumento significativo impactou diretamente os produtos presentes no dia a dia dos brasileiros, como soja, café, trigo e açúcar (Nogueira *et al.*, 2023).

Com o objetivo de conter essa situação, instituiu-se o Grupo de Trabalho Interministerial para desenvolvimento do Plano Nacional de Fertilizantes (GTI-PNF) (Brasil, 2022; Caligaris *et al.*, 2022). Esse plano baseou-se em 5 objetivos estratégicos, apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Plano nacional de fertilizantes

Objetivo estratégico	Tema
1	Modernizar, reativar e ampliar as plantas e projetos de fertilizantes existentes no Brasil
2	Melhorar o ambiente de negócios no Brasil para atração de investimentos para a cadeia de fertilizantes e nutrição de plantas
3	Promover vantagens competitivas na cadeia de produção nacional de fertilizantes para melhorar o suprimento do mercado brasileiro
4	Ampliar os investimento em PD&I e no desenvolvimento da cadeia de fertilizantes e nutrição de plantas do Brasil
5	Adequar a infraestrutura para integração de polos logísticos e viabilização de empreendimentos

Fonte: adaptado de Brasil, 2022.

De acordo com o Quadro 4, o primeiro objetivo compreende, em curto e médio prazo, realizar os procedimentos necessários para a operação de plantas existentes, assim, diminuindo a dependência de importações (Caligaris *et al.*, 2022). Ademais, em suas metas específicas, tem-se o reaproveitamento de resíduos sólidos e subprodutos com potencial para produção de fertilizantes (Brasil, 2022).

O segundo objetivo faz menção à atração de investimentos para o ramo do cultivo, a partir de ações econômicas do governo (Caligaris *et al.*, 2022). Para o terceiro, é mencionado o aproveitamento dos recursos tropicais brasileiros disponíveis para potencializar a agricultura. Com isso, torna-se possível o desenvolvimento de novos produtos e processos que auxiliam na dependência dos insumos tradicionais (Caligaris *et al.*, 2022; Brasil, 2022).

As ações a médio e longo prazo são obtidas pelos objetivos quarto e quinto. Essas diretrizes juntas consistem em investir em desenvolvimentos tecnológicos, enquanto realiza adequações nas infraestruturas logísticas, viabilizando novos empreendimentos (Caligaris *et al.*, 2022). Em específico, o objetivo quarto evidencia, em suas metas

direcionadas, a importância de promover a capacitação de pesquisadores para alcançar os propósitos do PNF (Brasil, 2022).

Com essas medidas de curto, médio e longo prazo, espera-se que o Brasil consiga atingir uma maior independência sob as oscilações do mercado internacional, perante as importações de fertilizantes, contribuindo para o agronegócio e também para a economia nacional. Por isso, o estudo da viabilidade de utilização de lodo como fertilizante torna-se uma alternativa interessante e compatível com as premissas propostas pelo governo brasileiro.

2.2.2.2 *Uso de lodo*

O uso agrícola de lodo de estações de tratamento de água e esgoto trata-se de uma alternativa à sua disposição em aterros sanitários. De maneira geral, o que chama atenção para essa aplicação é a alta presença de nutrientes (Gonçalves e Mol, 2021; Araújo *et al.*, 2022). Além dos lodos de estações de tratamento, há estudos acerca do uso de lodo de piscicultura para produção de fertilizantes. Como mencionado na seção 2.1.2.3, há trabalhos sobre o uso na produção de mudas de alface e pitanga, por exemplo (Alves *et al.* 2022; Oliveira e Hojo, 2024).

Lobo *et al.* (2020) analisaram a produção de mudas de eucalipto com uso de lodo de esgoto compostado em diferentes proporções de mistura com substrato comercial. Os autores avaliaram os parâmetros de altura e diâmetro da planta, produção de matéria seca, qualidade de muda, nutrição mineral de plantas e características químicas do substrato. Com isso, determinaram que o ensaio utilizando a maior quantidade de composto de lodo de esgoto proporcionou os melhores resultados em todos os parâmetros estudados.

Melo *et al.* (2021) estudaram o efeito de diferentes substratos contendo lodo de esgoto na qualidade e teor de nutrientes em *Hovenia dulcis* Thunberg. Os autores determinaram que a adição do lodo de esgoto proporcionou mudas de melhor qualidade nutricional, com melhor crescimento e aumento de biomassa da parte aérea e da raiz.

Zabotto *et al.* (2022) sintetizaram resultados experimentais apresentados na literatura acerca da adição de lodo de esgoto em substratos para produção de mudas arbóreas nativas brasileiras. Os autores concluíram, com os trabalhos observados, que o uso do resíduo na formulação de substratos proporcionou impactos positivos no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Contudo, devido à viabilidade na composição desse material e a possível presença de contaminantes, torna-se essencial a existência de uma legislação específica que

estabeleça limites e critérios técnicos para seu uso seguro. Nesse contexto, as normas brasileiras definem parâmetros de qualidade, assegurando que o aproveitamento do lodo ocorra de forma ambientalmente adequada.

2.2.2.3 Legislação

Existem normas brasileiras que regulamentam os limites de nutrientes e contaminantes em fertilizantes, para assim garantir qualidade dos produtos e segurança ambiental em seu uso.

De acordo com a Instrução Normativa SDA nº 27/2006 (Brasil, 2006), alterada pela Instrução Normativa SDA nº 7/2016 (Brasil, 2016), os fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes só podem ser produzidos, importados e comercializados se atenderem aos limites estabelecidos para agentes fitotóxicos, patogênicos, metais pesados e outros contaminantes. Esses limites variam conforme o tipo de produto e consideram a presença de nutrientes e micronutrientes. Entre os metais controlados estão arsênio, cádmio, chumbo, cromo e mercúrio, cujas concentrações máximas são definidas nos anexos da norma, visando evitar a contaminação do solo.

Por outro lado, a Instrução Normativa nº 61/2020 (Brasil, 2020), estabelece as regras para definição, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. Essa norma define requisitos de qualidade para o lodo tratado, limites máximos de contaminantes químicos e microbiológicos, métodos de monitoramentos e condições específicas para o transporte, armazenamento e aplicação em solos agrícolas. Além disso, exige que todas as etapas do processo estejam sob responsabilidade técnica devidamente registrada, assegurando a rastreabilidade e a conformidade com as boas práticas agronômicas.

Tratando-se de lodo especificamente, a resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020 (Brasil, 2020), estabelece os critérios e procedimentos para a produção e aplicação de biossólidos em solos. Seu objetivo central é garantir o uso ambientalmente adequado do lodo de esgoto sanitário tratado, transformando-o em biossólido com qualidade controlada para aproveitamento agrícola e recuperação de áreas degradadas. A norma define parâmetros químicos, microbiológicos e operacionais para classificação do material em diferentes classes, de acordo com a presença de patógenos e metais pesados, além de impor restrições de uso conforme o tipo de cultura e localização da aplicação.

Em conjunto, essas normativas servem de fundamento para o controle da qualidade dos fertilizantes no Brasil. Assim, o cumprimento dessas normas promovem sustentabilidade e segurança na agricultura.

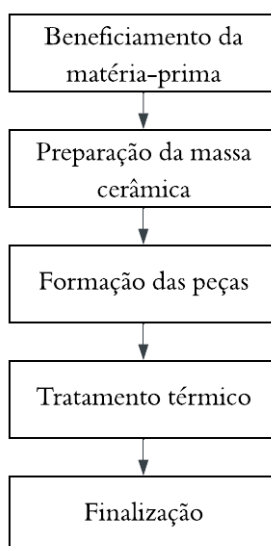
2.2.3 Produção De Cerâmicas Vermelhas

A cerâmica vermelha também é conhecida como cerâmica estrutural, e os principais produtos desse setor no Brasil são: blocos, telhas, tijolos, tubos cerâmicos e argilas expandidas, caracterizados pela coloração avermelhada (Araújo, 2008; Brasil, 2021).

A principal matéria-prima empregada no processo de fabricação desses produtos são as argilas (Junior *et al.*, 2005; Araújo, 2008; Brasil, 2021). Elas constituem de sedimentos pelíticos consolidados e inconsolidados, que queimam em cores avermelhadas entre 800 e 1250 °C. Geralmente, possuem granulometria fina, conferindo certo grau de plasticidade, quando adicionada em determinadas porcentagem de água (Junior *et al.*, 2005).

O processo de fabricação de cerâmica vermelha envolve as etapas de beneficiamento da matéria-prima, preparação da massa cerâmica, formação das peças, tratamento térmico e finalização, conforme pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Processo de fabricação de cerâmica vermelha



Fonte: adaptado de Aguiar *et al.*, 2022.

No beneficiamento da matéria-prima, a argila passa pelos processos de britagem e moagem, para que seja desaglomerada e atinja a granulometria adequada para o processo (FIEMG e FEAM, 2013; Aguiar *et al.*, 2022). Na preparação da massa cerâmica,

normalmente mistura-se dois tipos de argila diferentes, buscando alcançar as características para formação do produto (FIEMG e FEAM, 2013; Aguiar *et al.*, 2022).

A formação das peças é a etapa em que as cerâmicas adquirem o formato final. Envolve as operações de laminação, extrusão, corte e prensagem. Na laminação, o material é passado entre rolos laminadores, adquirindo formato de lâminas finas. Na extrusão, a massa passa por uma extrusora, sendo compactada e pressionada por um bocal de saída no formato desejado. Após a extrusão, ocorre o corte, em que a coluna extrudada é cortada no tamanho desejado. A prensagem ocorre na fabricação de telhas, após a extrusão, e consiste na compressão da peça (FIEMG e FEAM, 2013; Aguiar *et al.*, 2022).

O tratamento térmico inclui secagem e queima dos corpos cerâmicos. A secagem visa a retirada, de forma lenta, do excesso de água, evitando defeitos. A queima – ou sinterização – consiste na submissão da peça a temperaturas elevadas (FIEMG e FEAM, 2013; Aguiar *et al.*, 2022). A finalização, por sua vez, consiste na inspeção, estocagem e expedição dos materiais cerâmicos (FIEMG e FEAM, 2013; Aguiar *et al.*, 2022).

A indústria de cerâmica é uma ótima opção para incorporar os resíduos sólidos gerados nas operações industriais, por possuir capacidade de aceitar novos componentes na matéria-prima (Araújo, 2008). Segundo Silva *et al.* (2021), os estudos presentes na literatura indicam que as proporções de adição de lodo em massa cerâmica mais aplicadas são 5, 10, 15 e 20 %. Além disso, os componentes cerâmicos comumente estudados para incorporação de lodos são blocos ou tijolos. No Brasil, a norma que estabelece os requisitos para esses materiais cerâmicos, bem como os métodos de ensaio, é a ABNT NBR 15270: Componentes Cerâmicos – Blocos e Tijolos para Alvenaria, partes 1 e 2 (ABNT, 2023).

Areias *et al.* (2017) estudaram a incorporação de lodo de ETE em cerâmica vermelha. Os autores fizeram formulação com adição de 0 a 15 %, em massa, de resíduo de ETE. Os corpos de prova produzidos foram analisados em relação a: retração linear, absorção de água e resistência à compressão. Os autores determinaram que, para que não haja comprometimento das propriedades da cerâmica, o lodo de ETE deve ser utilizado em pequenas proporções (até 2,5 %).

Neves *et al.* (2023) analisaram a incorporação de lodo de ETA em massa cerâmica argilosa para fabricação de cerâmica vermelha. Foram incorporados teores de 5, 10 e 15 % de lodo, e os corpos cerâmicos produzidos foram caracterizados quanto à retração linear de queima, massa específica aparente, porosidade aparente, absorção de água, perda ao fogo e

tensão de ruptura à flexão. Os resultados mostraram ser possível adicionar até 10 % de lodo de ETA em substituição parcial da argila para produção de tijolo de alvenaria.

Silva (2025) estudou a viabilidade do uso de lodo de ETA na produção de cerâmicas vermelhas. No trabalho, foram preparadas misturas com adição de 5, 10, 15 e 20 % de lodo em massa, bem como ensaios de referência constituídos somente de lodo e outro só com argila. Os corpos de prova produzidos foram submetidos aos ensaios de: retração linear, absorção de água, resistência à compressão e perda de massa. Como resultados, a autora determinou que a mistura de 15 % mostrou-se mais efetiva, atendendo os requisitos estabelecidos pelas normas brasileiras para blocos e tijolos de alvenaria.

O comportamento do material e a viabilidade de produção das cerâmicas depende da composição do lodo estudado. Na Tabela 4 pode-se observar propriedades físicas observadas em lodos de ETA utilizados para produção de materiais de construção.

Tabela 4 – Propriedades físicas de lodos de ETA usados em materiais da construção civil

LL (%)	LP (%)	IP (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Pedregulho (%)	Referência
56	40	16	32	41	24	3	Araújo <i>et al.</i> , 2015
ND	NP	ND	90,39	9,61	9,61	-	Oliveira, Tenório e Marques, 2023
ND	NP	NP	-	8,25	91,75	-	Silva, 2025

ND: Não detectado; NP: Não plástico.

Fonte: as autoras, 2025.

Os limites apresentados na Tabela 4 são importantes na produção de cerâmica, uma vez que o LL indica o teor de água correspondente ao limite entre os estados líquido e plástico do material e o LP indica o teor de água correspondente ao limite entre os estados plástico e semi-sólido do material (O’Kelly, 2021). Dessa forma, esses limites indicam a faixa de água em que o material pode ser moldado. Percebe-se, que os lodos podem, ou não, apresentar perfil plástico, dependendo do processo em que são gerados.

A composição química do material também influencia nas características do produto final. Na Tabela 5 pode-se observar a composição química de lodos utilizados para fabricação de tijolos cerâmicos.

As composições apresentadas na Tabela 5 fizeram parte de estudos de outros autores que analisaram a possibilidade de incorporação de lodos em massas cerâmicas, verificando a proximidade com a composição de argilas convencionais utilizadas, bem como visando entender as consequências na cerâmica final produzida. Todos os trabalhos usados

como referência nas Tabelas 4 e 5 indicaram que é possível utilizar lodo como substitutivo parcial da argila na produção de cerâmica.

Tabela 5 – Composição química de lodos utilizados na fabricação de cerâmica vermelha

Componente (%)	Lodo de ETE		Lodo de ETA	
	Nasraui <i>et al.</i> , 2023	Areias <i>et al.</i> , 2017	Oliveira, Tenório e Marques, 2023	Neves <i>et al.</i> , 2023
Al ₂ O ₃	22,50	8,83	12,03	24,89
SiO ₂	35,30	14,26	55,65	55,61
Fe ₂ O ₃	13,40	7,78	1,22	5,97
K ₂ O	1,41	0,71	2,33	2,33
TiO ₂	1,06	0,63	-	1,1
MgO	0,61	0,76	2,51	0,62
MnO	-	<0,05	-	<0,05
Na ₂ O	0,32	0,19	1,2	0,42
CaO	4,30	12,78	7,81	0,15
P ₂ O ₅	5,77	2,04	-	0,12
SO ₃	5,52	-	-	-
TiO ₂	1,06	-	-	-
BaO	-	<0,1	-	-
Co ₂ O ₃	-	<0,1	-	-
Cr ₂ O ₃	0,20	<0,1	-	-
PbO	-	-	-	-
SrO	-	<0,1	-	-
ZnO	0,26	0,11	5,82	-
ZrO ₂ + HfO ₂	-	<0,1	-	-
Outros	0,53	-	10,01	-

Fonte: as autoras, 2025.

Com base no exposto e tomando como referência estudos que caracterizam lodos provenientes de estações de tratamento para diferentes aplicações, o presente trabalho buscou avaliar a possibilidade de utilização do lodo de piscicultura em destinações que promovam a valorização deste resíduo, adotando como metodologia a caracterização físico-química do lodo.

3 METODOLOGIA

Nesta seção são descritos os procedimentos que foram adotados para coleta e preparação do lodo de piscicultura, bem como para análises físico-químicas e morfológica do material.

3.1 COLETA E PREPARAÇÃO DO LODO DE PISCICULTURA

A amostra de lodo de piscicultura foi doada por um piscicultor, cuja propriedade rural está situada no oeste do Paraná, no município de Nova Aurora, a cerca de 60 km de Cascavel.

A propriedade realiza produção intensiva de tilápia, em 4 tanques escavados que podem ser observados pela imagem de satélite apresentada na Figura 5. A coleta de lodo foi realizada no viveiro 2 (Figura 6), que opera com aproximadamente 30.000 peixes, 4.831 m² de lâmina d'água e 2 metros de profundidade (Carvalho, 2025). Foram coletados 15 kg de lodo no dia 17 de maio de 2025, conforme a norma ABNT NBR 10007: Amostragem de Resíduos Sólidos (ABNT, 2004).

Figura 5 – Imagem de satélite da propriedade



Fonte: Carvalho, 2025.

Figura 6 – Tanque seco onde foi realizada a coleta do lodo de piscicultura

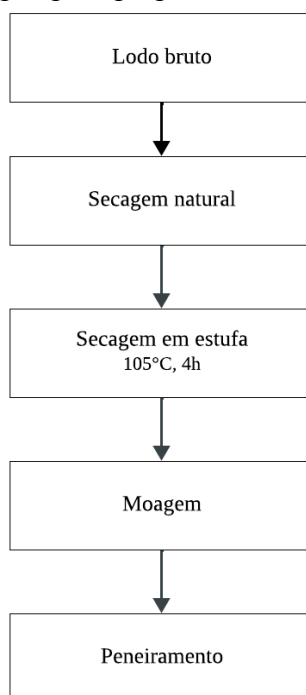


Fonte: as autoras, 2025.

O tanque onde foi realizada a coleta do lodo estava em operação há vários ciclos, apesar de que para cada novo lote de alevinos, o tanque deveria ser esvaziado completamente para remover detritos e restos de organismos (Carvalho, 2025).

O lodo coletado foi transportado para o município de Foz do Iguaçu (Paraná) e submetido a preparação para realização das análises e armazenamento, conforme as etapas apresentadas na Figura 7.

Figura 7 – Etapas para preparo do lodo de piscicultura



Fonte: as autoras, 2025.

Conforme observa-se na Figura 7, o lodo de piscicultura passou pelos processos de secagem, moagem e peneiramento. Esses procedimentos seguiram o proposto por Souza e Carvalho (2020). Inicialmente, deixou-se o material secando naturalmente por 15 dias (Figura 8). Em seguida, ele foi seco em estufa a 105 °C durante 4 horas. Realizou-se, então, a trituração e o peneiramento das amostras, de forma que os grãos ficassem na faixa de 50 a 200 mesh (0,075 a 0,3 mm). Foi necessário a adaptação do trabalho Souza e Carvalho (2020) quanto a granulometria, em virtude das peneiras disponíveis no laboratório experimental. Após o peneiramento e a trituração, as amostras foram armazenadas sob refrigeração a aproximadamente 4 °C, pelo período de 120 dias. Esse período compreendeu o tempo necessário para realização de todas as análises envolvidas no presente trabalho.

Figura 8 – Secagem natural do lodo de piscicultura



Fonte: as autoras, 2025.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE PISCICULTURA

O lodo de piscicultura foi caracterizado por meio de análises físicas (determinação de sólidos fixos e voláteis, limite de liquidez, limite e índice de plasticidade), químicas (análise elementar e variáveis de valor agrônômico) e morfológicas (microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de energia dispersiva). As metodologias utilizadas na caracterização estão descritas nos tópicos *3.2.1 Caracterização Física*; *3.2.2 Caracterização Química* e *3.2.3 Caracterização Morfológica*.

As análises realizadas foram utilizadas para determinar o potencial de reaproveitamento do lodo nas três rotas de destinação propostas: a) produção de carvão ativado, b) fertilizante e incorporação em cerâmica vermelha.

3.2.1 Caracterização Física

Para caracterização física do lodo foram realizadas as análise de determinação de sólidos fixos e voláteis, limite de liquidez, limite e índice de plasticidade.

3.2.1.1 Determinação dos sólidos fixos e voláteis

Para determinação dos sólidos fixos (SF) e dos sólidos voláteis (SV), empregou-se a ABNT NBR 10664: Água – Determinação de Resíduos (Sólidos) – Método Gravimétrico (ABNT, 1989). Dessa forma, iniciou-se o processo pelo preparo do cadinho. Para isso, o cadinho vazio foi colocado na mufla a 550 ± 50 °C por 1 hora, em seguida foi retirado e colocado para resfriar em dessecador à temperatura ambiente. Logo após o resfriamento, o recipiente foi pesado e deixado no dessecador até o momento de uso. Em seguida, transferiu-se para o recipiente uma porção homogênea de amostra de 25 a 50 g (m_1) e pesou-se. A amostra foi seca em estufa entre 103 e 105 °C por 12 horas. Posteriormente, a amostra foi transferida para dessecador e mantida em temperatura ambiente até resfriar, quando foi imediatamente pesada (m_2). Após a pesagem, essa mesma amostra foi submetida à calcinação a 550 ± 50 °C por 1 hora, resfriada a temperatura ambiente em dessecador e imediatamente pesada (m_3). O teor de sólidos fixos é dado pela Equação 1.

$$\% SF = \frac{m_3 * 100}{m_2} \quad (1)$$

sendo:

SF: sólidos fixos;

m_2 : massa após a secagem em estufa a 103 °C;

m_3 : massa após a calcinação a 550°C por 1 hora.

Os sólidos voláteis são determinados pela Equação 2.

$$\% SV = 100 - SF \quad (2)$$

sendo:

SV: sólidos voláteis;

SF: sólidos fixos.

3.2.1.2 Limite de liquidez

Para determinação do limite de liquidez (LL), aplicou-se a ABNT NBR 6459: Solo - Determinação do Limite de Liquidez (ABNT, 2016). Dessa forma, utilizou-se 100 g de amostra passante em peneira de abertura 0,42 mm. O material foi colocado em cápsula de porcelana e adicionou-se água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo continuamente, de forma a obter uma pasta homogênea. A homogeneização ocorreu por 15 minutos. Parte da mistura foi transferida para a concha do equipamento Casagrande elétrico e moldada de forma que na parte central a espessura fosse na ordem de 10 mm e não houvessem bolhas de ar. Passou-se o cinzel por meio da massa, abrindo uma ranhura em sua parte central. Anotou-se o número de golpes necessários para que as bordas inferiores da ranhura se unissem ao longo de 13 mm de comprimento. Determinou-se a umidade do material moldado na concha com base na ABNT NBR 6457: Solo - Preparação de Amostras para Ensaio de Compactação, Caracterização e Determinação do Teor de Umidade (ABNT, 2024).

O restante da massa foi devolvida à cápsula de porcelana, na qual adicionou-se mais água e homogeneizou-se por 3 minutos. Em seguida, moldou-se novamente o material na concha do Casagrande, repetindo o mesmo procedimento anteriormente mencionado, de modo a cobrir o intervalo de 35 a 15 golpes, com pelo menos 5 pontos de ensaio.

3.2.1.3 Limite e índice de plasticidade

Para determinação do limite e índice de plasticidade (LP e IP, respectivamente), aplicou-se a ABNT NBR 7180: Solo - Determinação do Limite de Plasticidade (ABNT, 2016). Dessa forma, utilizou-se 100 g de amostra passante em peneira de abertura 0,42 mm. O material foi colocado em cápsula de porcelana e adicionou-se água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo continuamente, de forma a obter uma pasta homogênea. A homogeneização ocorreu por 15 minutos. Utilizou-se cerca de 10 g da amostra e foi moldada uma pequena bola, a qual foi rolada sobre a placa de vidro para formar um cilindro. Caso a amostra fragmentasse antes de atingir o diâmetro de 3 mm, ela era

retornada à cápsula e adicionava-se mais água. Ao atingir o diâmetro de 3 mm sem se fragmentar, o material deveria ser amassado e remodelado. Ao se fragmentar com o diâmetro de 3 mm e comprimento na ordem de 100 mm, realizou-se a determinação da umidade.

3.2.2 Caracterização Química

3.2.2.1 *Análise elementar*

Os teores de carbono, hidrogênio, nitrogênio e enxofre foram determinados por análise elementar, utilizando o analisador elementar *FlashSmart*, da marca Thermo Scientific. A análise foi realizada na Central de Análises Químicas Instrumentais (CAQI), no Instituto de Química de São Carlos – Universidade de São Paulo (USP).

3.2.2.2 *Variáveis de valor agrônomico*

As propriedades agrônomicas analisadas no lodo foram: pH CaCl_2 , Al^{3+} , H^+Al , saturação por alumínio, saturação por bases, soma de bases, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica (CTC pH 7), Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , P, Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} . A metodologia adotada para as análises seguiu o apresentado no manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes da Embrapa (Santos *et al.*, 2009).

3.2.3 Caracterização Morfológica

Para verificar a morfologia do material, utilizou-se um Microscópio Eletrônico de Varredura, modelo Zeiss EVO-MA10. O equipamento está localizado no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LMEV), na Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA). Além disso, o equipamento possui um detector de raios X acoplado, permitindo a análise de *Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy* (Espectroscopia de Energia Dispersiva, EDS).

3.3 POTENCIAIS DE APLICAÇÃO DO LODO

Os potenciais estudados para aplicação do lodo foram: carvão ativado, fertilizante e incorporação em cerâmica vermelha. As análises utilizadas para caracterização do lodo estão descritas no tópico 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE PISCICULTURA

e o método utilizado para verificar a viabilidade de cada destinação proposta são apresentados nos tópicos a seguir.

3.3.1 Produção De Carvão Ativado

Para avaliar o potencial de produção de carvão ativado foram consideradas análise elementar, sólidos fixos e voláteis, composição química, por meio do EDS, e caracterização morfológica por MEV.

3.3.2 Fertilizante

Para verificar o potencial de aplicação do lodo de piscicultura como fertilizante, foram consideradas as variáveis de valor agrônômico, que são indicadores da fertilidade do material.

3.3.3 Produção De Cerâmicas Vermelhas

Para verificar o potencial de aplicação do lodo de piscicultura na produção de cerâmicas vermelhas, considerou-se os parâmetros de LL, LP e IP. Além disso, utilizou-se a análise EDS como complemento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção são apresentados os resultados, e discussões, da caracterização do lodo de piscicultura. A apresentação está subdividida de acordo com cada destinação estudada, visando a melhor correlação das análises com a respectiva aplicação do material.

4.1 PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO

O potencial do lodo de piscicultura para produção de carvão ativado foi avaliado por meio da análise elementar, sólidos fixos e voláteis, EDS e MEV. Os resultados da análise elementar são apresentados na Tabela 6. Pode-se observar, que o teor de carbono obtido para o lodo de piscicultura utilizado foi 2,79 %. Segundo Werlang *et al.* (2013), para que um material seja considerado como bom precursor para produção de carvão ativado, ele deve apresentar um elevado teor de carbono em sua composição. Outros trabalhos que utilizaram lodos provenientes de estações de tratamento para produção de carvão ativado, determinaram teores de carbono que variaram de 22,60 a 41,40 % (Mahapatra *et al.*, 2012; Viana, 2013; Oda, 2017; Oda *et al.*, 2021). Dessa forma, o teor de carbono observado no material estudado é inferior aos teores observados em outros materiais utilizados.

Tabela 6 – Resultados da análise elementar do lodo de piscicultura

Material	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)
Lodo de piscicultura	2,79 ± 0,15	1,21 ± 0,14	0,54 ± 0,01	0,00 ± 0,00

Fonte: as autoras, 2025.

Em relação aos demais elementos (Tabela 6) observa-se que hidrogênio, nitrogênio e enxofre apresentam valores inferiores aos que foram registrados em estudos de lodos de estação de tratamento. Alguns estudos os teores de hidrogênio variaram de 2,3 a 5,51 %; nitrogênio de 2,17 a 9,31 %; e enxofre de 0,11 a 1 % (Mahapatra *et al.*, 2012; Viana, 2013; Oda, 2017; Oda *et al.*, 2021).

Além da presença de carbono, Couto (2009) afirma que a matéria-prima do carvão ativado deve apresentar baixo teor de material inorgânico (cinzas). Isso deve-se ao fato de que o material mineral, presente nas cinzas, apresenta caráter hidrofílico e, portanto, adsorve preferencialmente a água (Macêdo, 2012; Costa *et al.*, 2015). A parte inorgânica do material estudado pode ser representada pelo teor de sólidos fixos, enquanto que o conteúdo orgânico pode ser representado pelos sólidos voláteis (Lenz *et al.*, 2021). Os teores desses

sólidos no lodo de piscicultura podem ser observados na Tabela 7. Alguns autores que utilizaram lodos provenientes de estações de tratamento para produção de carvão ativado, determinaram teores de SF que variaram de 28,2 a 39,79 % (Mahapatra *et al.*, 2012; Oda, 2017; Oda *et al.*, 2021; Azevedo, 2024). Portanto, a matéria inorgânica do lodo estudado, representada pelos SF, é superior.

Tabela 7 – Sólidos fixos e voláteis do lodo de piscicultura

Material	SF (%)	SV (%)
Lodo de piscicultura	85,07 ± 1,80	14,93 ± 1,80

SF: sólidos fixos; SV: sólidos voláteis.

Fonte: as autoras, 2025.

A matéria inorgânica de lodos é constituída por partículas minerais de diferentes tamanhos, como areia, argila e silte. Sua composição inclui principalmente elementos como cálcio, magnésio, ferro e manganês (Pinheiro, 2007; Monteiro, 2014). Os resultados da análise EDS (Tabela 8) apresentam teores predominantes de oxigênio, carbono, silício, alumínio e ferro.

Tabela 8 – Composição química do lodo de piscicultura determinada por EDS

Elemento	% em massa
O	47,67 ± 1,27
C	23,83 ± 3,07
Si	11,07 ± 0,97
Al	7,40 ± 0,57
Fe	7,27 ± 0,45
Ca	0,73 ± 0,05
Mg	0,60 ± 0,00
Ti	0,50 ± 0,08
P	0,57 ± 0,12
K	0,23 ± 0,05
Na	0,13 ± 0,05

Fonte: as autoras, 2025.

A predominância de oxigênio pode indicar a presença de óxidos, contribuindo com o alto teor de matéria inorgânica determinada pelos SF (Aliakbari *et al.*, 2018). A análise elementar reforça essa afirmação, pois apresentou apenas 2,79 % de carbono total, sendo um valor muito inferior ao relatado em lodos usados com sucesso como

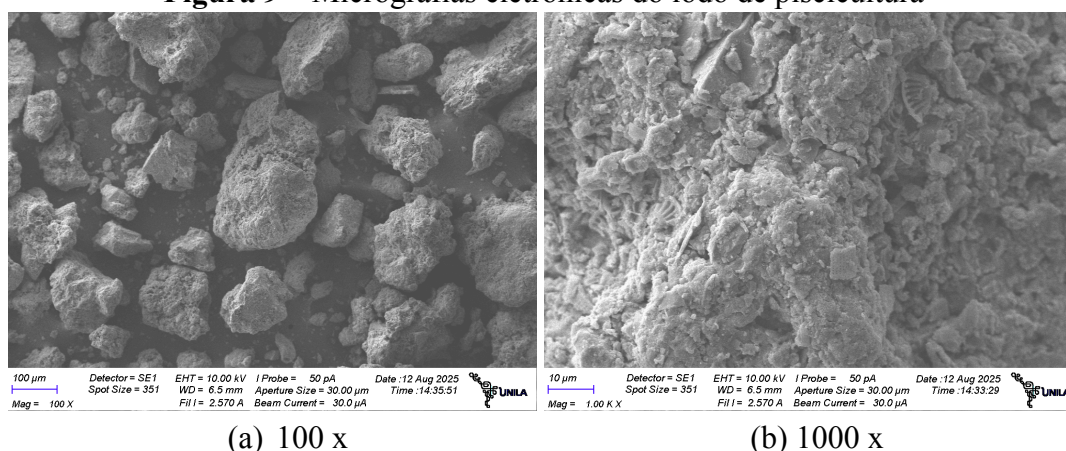
precursores de carvão ativado (Oda *et al.*, 2021; Oda, 2017; Viana, 2013; Mahapatra *et al.*, 2012).

Em conjunto, os dados obtidos pela análise elementar, SF, SV e EDS, apontam um baixo teor de carbono disponível e alta carga mineral. A discrepância entre o carbono superficial, analisado pelo EDS, e o carbono total, estabelecido pela análise elementar, indica que o sinal de carbono observado por EDS pode refletir o filme orgânico utilizado na análise (Zeiss, 2008).

A presença dos elementos Si, Al e Fe sugerem uma alta quantidade de areia e substâncias minerais dissolvidas na amostra, enquanto as pequenas frações de Na, K, P e Ti podem representar possíveis vestígios de ração (Pinheiro, 2007; Monteiro, 2014).

Para complementar a caracterização química e definir a microestrutura do lodo, realizou-se o MEV. As imagens obtidas permitem observar a morfologia das partículas, o grau de rugosidade superficial e a distribuição de vazios entre grãos. A Figura 9 apresenta as micrografias representativas em diferentes aumentos.

Figura 9 – Micrografias eletrônicas do lodo de piscicultura



Fonte: as autoras, 2025.

O MEV pode fornecer informações essencialmente qualitativas sobre a topografia superficial da amostra (Vernon-Parry, 2000). As micrografias revelam uma matriz heterogênea, composta por partículas angulosas de superfície rugosa. Quanto à porosidade, observa-se o espaçamento entre grãos, com ocorrência limitada de poros, caracterizando uma superfície pouco porosa. Dessa forma, para determinar quantitativamente as características porosas de um material, é necessário aplicar outras técnicas, como a análise de adsorção de nitrogênio pelo método Brunauer-Emmett-Teller (BET), que possibilita a determinação da área superficial específica do material. Lodos com características semelhantes às observadas

no MEV foram relatados em outros trabalhos, em que os autores mencionam o aumento da porosidade após a pirólise (Viana, 2013; Oda, 2017).

Li *et al.* (2011) e Viana (2013) afirmam que o aumento do número de poros após a pirólise ocorre, principalmente, por conta da decomposição da matéria orgânica durante o processo. Dessa forma, considerando a baixa presença de matéria orgânica no lodo de piscicultura estudado, pode-se esperar que o material carbonizado também apresente baixa porosidade.

Do ponto de vista tecnológico, a alta mineralização prevista pelos 85 % de SF, dificulta o desenvolvimento de poros durante a ativação do carvão e, portanto, limita a área específica atingível (García, 2018). Assim, as evidências sugerem que o lodo de piscicultura analisado, é um precursor pouco promissor para a produção de carvão ativado convencional.

4.2 FERTILIZANTE

A análise do potencial de uso agrônomico do lodo de piscicultura consiste em comparar as análises de valor agrônomico com valores relatados em outras literaturas. Portanto, os resultados comparativos entre os valores obtidos por meio do ensaio experimental e outros autores estão dispostos na Tabela 9.

Os resultados obtidos no ensaio experimental representam a fração de nutrientes assimiláveis pelas plantas, assim, realizou-se o comparativo entre literaturas que utilizaram a mesma fração na apresentação de resultados. O teor de cálcio (Ca^{2+}) observado foi inferior apenas ao reportado por Oliveira e Hojo (2024). Esse alto teor indica que o lodo analisado é proveniente de um solo mais jovem, que sofreu menos intemperismo (Sobral *et al.*, 2015; Hojo *et al.*, 2024). De forma semelhante, o magnésio (Mg^{2+}) apresentou valor superior aos relatados nas literaturas. Essa alta concentração confirma o baixo intemperismo do solo (Sobral *et al.*, 2015; Hojo *et al.*, 2024; Oliveira e Hojo, 2024).

O teor de potássio (K^+) apresentou grande variação em relação aos autores, sendo inferior ao observado por Melo *et al.* (2022), porém superior aos reportados por Silva *et al.* (2025) e Hojo *et al.* (2024). Ainda assim, pode-se considerar que o valor encontrado é alto (Hojo *et al.*, 2024).

A ausência de alumínio trocável (Al^{3+}), também foi observada por outros autores, indica caráter não ácido do substrato (Sobral *et al.*, 2015), o que é confirmado pelo pH em CaCl_2 de 6,5, valor próximo à neutralidade (Ronquim, 2010) e superior ao relatado por

Silva *et al.* (2025). Conseqüentemente, a saturação por alumínio em 0% indica ambiente favorável ao desenvolvimento vegetal (Sobral *et al.*, 2015).

Tabela 9 – Comparativo entre as propriedades de valor agrônômico

Nutrientes	Ensaio experimental	Silva, Costa e Pereira (2025)	Hojo <i>et al.</i> (2024)	Oliveira e Hojo (2024)	Melo <i>et al.</i> (2022)
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	14,29	2,27	10,16	16,87	2,83
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	7,11	0,63	4,06	6,75	1,72
K ⁺ (mg dm ⁻³)	269,79	39,7	132,94	586,5	22287,0
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,00	0,008	0,00	0,00	0,00
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	2,74	2,36	4,28	4,00	2,30
P (mg dm ⁻³)	328,45	63,5	431,83	275,99	-
Fe ²⁺ (mg dm ⁻³)	312,01	405,8	811,90	537,59	492,00
Mn ²⁺ (mg dm ⁻³)	298,00	2,64	210,80	660,79	88,00
Cu ²⁺ (mg dm ⁻³)	27,56	0,40	19,10	22,87	5,7
Zn ²⁺ (mg dm ⁻³)	15,00	11,41	21,40	31,33	15,69
Soma de bases (cmol dm ⁻³)	22,09	-	14,59	14,59	4,7
CTC (pH 7) (cmol _c dm ⁻³)	24,83	5,3	18,87	29,33	-
Matéria orgânica (%)	2,33	2,69	2,47	-	4,16
Sat. Al (%)	0,00	-	0,00	0,00	-
Sat. base (%)	88,96	-	77,32	86,36	-
pH CaCl ₂	6,50	5,00	-	-	-

Fonte: as autoras, 2025.

Em relação ao fósforo (P), o ensaio apresentou 328,45 mg dm⁻³, superando expressivamente o resultado de Silva *et al.* (2025) e aproximando-se do valor máximo observado por Hojo *et al.* (2025). Essa concentração demonstra o potencial do lodo de contribuir para o suprimento de P em cultivos agrícolas.

A soma de bases e a capacidade de troca catiônica (CTC) foram superiores à maioria dos estudos, refletindo alta concentração de cátions trocáveis e boa capacidade de retenção de nutrientes. O valor da saturação por bases confirma essa condição, indicando um

material com predominância de cargas negativas ocupadas por bases, coerente com a elevada disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} (Ronquim, 2010; Sobral *et al.*, 2015).

Quanto aos micronutrientes, o material apresentou elevados teores de ferro (Fe^{2+}), manganês (Mn^{2+}), cobre (Cu^{2+}) e zinco (Zn^{2+}), superando a maioria dos resultados apresentados por Silva *et al.* (2025). Esses resultados indicam que o lodo pode atuar como importante fonte de micronutrientes, embora o excesso de alguns elementos, como exemplo o Fe, deva ser monitorado para evitar toxicidade (Jucoski *et al.*, 2016).

Por fim, o teor de matéria orgânica situou-se próximo aos valores encontrados por Silva *et al.* (2025) e Hojo *et al.* (2024), o que sugere uma contribuição por parte do material para a manutenção do equilíbrio dos nutrientes (Ronquim, 2010).

De modo geral, os resultados obtidos indicam que o material avaliado apresenta características químicas favoráveis ao uso agrícola, com teores de nutrientes superiores ou compatíveis aos relatados em estudos anteriores.

4.3 PRODUÇÃO DE CERÂMICAS VERMELHAS

A determinação do potencial de uso de lodo de piscicultura como matéria-prima para produção de cerâmica vermelha, consistiu na análise dos parâmetros de LL, LP e IP, complementados pela análise EDS. Os resultados referentes a LL, LP e IP podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10 – LL, LP e IP do lodo de piscicultura

Material	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Lodo de piscicultura	NL	NP	NP

NL: não apresenta limite de liquidez; NP: não apresenta limite de plasticidade/não plástico.

Fonte: as autoras, 2025.

Esses limites são relevantes para o contexto de produção de cerâmica, pois indicam a faixa necessária de água para a conformação da massa cerâmica durante o processo de extrusão. Em um estudo realizado por Gao *et al.* (2022), observou-se que os LL e LP diminuíram com o aumento do teor de areia. Dessa forma, o fato de o lodo de piscicultura estudado não apresentar LL e LP pode estar relacionado com um alto teor de areia no material. Essa hipótese também é sustentada pelo fato de que na análise EDS (Tabela 8), observou-se que um dos principais elementos presentes no material estudado é silício (Si).

Lodos que não apresentaram LL e LP também foram observados em outros trabalhos e Oliveira *et al.* (2023) mencionam que a adição, em proporções adequadas, do lodo a argilas altamente plásticas proporciona melhora a organização das partículas, otimizando o processo de secagem. Além disso, em outros trabalhos em que foram empregados lodos com característica não plástica, foi possível atingir até 15% de incorporação do resíduo, produzindo produtos que atenderam às normas brasileiras para blocos e tijolos de alvenaria (Silva, 2025).

Portanto, devido a característica não plástica do material estudado, ele não seria uma matéria-prima adequada para ser usada 100% na produção de cerâmica vermelha. Contudo, sua aplicação em dosagens de até 15% podem resultar em um material cerâmico, principalmente blocos e tijolos, que podem atender os padrões de qualidade.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho analisou o lodo proveniente de tanques escavados utilizados para produção intensiva de tilápia, visando atender princípios da PNRS e ODS 12. Para identificar se as alternativas de reaproveitamento de lodo de piscicultura como: a) produção de carvão ativado; b) fertilizante e c) incorporação em cerâmica vermelha, foram realizadas análises físicas, químicas e morfológicas.

Os resultados indicaram que a composição do lodo apresentou baixo teor de carbono, pouca porosidade e predomínio de fração inorgânica. Essas características resultam em propriedades como rendimento e capacidades adsorptivas inferiores às esperadas em materiais precursores para a produção de carvão ativado. Por isso, a rota de destinação do resíduo para uso direto como carvão ativado não é viável.

Quanto à análise dos nutrientes referente ao uso como fertilizante, foram encontrados teores elevados de macronutrientes, ausência de Al^{3+} e saturação por bases elevada. Essas características são coerentes com material de bom potencial como insumo, sugerindo ganhos significativos na fertilidade do solo. Portanto, a partir dos resultados acredita-se que existe viabilidade técnica para o uso agrícola controlado.

Em relação à utilização do lodo para produção de cerâmica vermelha, devido às características não plásticas no material, não é possível sua utilização como substituto total da argila. Para garantir a viabilidade do uso do lodo nessa aplicação, ele deverá ser utilizado como substituto parcial da argila, ou como aditivo não plástico.

Portanto, embora o material não apresente potencial para uso direto como carvão ativado, demonstrou viabilidade técnica para uso como fertilizante e incorporação parcial em cerâmica vermelha.

A partir dos resultados obtidos, sugere-se para estudos futuros: (i) realização de ensaios agronômicos em campo, utilizando o lodo como fertilizante para avaliar o desenvolvimento real de diferentes culturas; (ii) execução de testes mecânicos (resistência à compressão e absorção de água) em tijolos e telhas produzidos com a incorporação do resíduo considerando até 15%, como limite de substituição técnica; (iii) investigar o potencial como matéria-prima na produção de geopolímeros.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Mariane Costalonga de; GADIOLI, Mônica Castoldi Borlini; SANT'ANNA, Maria Angélica Kramer; ALMEIDA, Kayrone Marvila de; GIORI, Ana Júlia Nali. Processos de fabricação de cerâmica vermelha. **Centro de tecnologia mineral - CETEM**. Série Tecnologia Ambiental. Rio de Janeiro. 2022.

ALEXANDRE, Elisandro; LUZ, Caroline Angulski da. Substituição parcial do cimento CPV-ARI por lodo de estação de tratamento de água (ETA). **Revista Matéria**, v. 25, n. 01. 2020.

ALIAKBARI, Zohreh; YOUNESI, Habibollah; GHOREYSHI, Ali Asghar; BAHRAMIFAR, Nader. Production and Characterization of Sewage-Sludge Based Activated Carbons Under Different Post-Activation Conditions. **Waste Biomass Valor**, v. 9, p. 451-463, 2018.

ALVES, Virgílio Otávio Teles Ferreira; FIRMO, Alessandra Lee Barbosa; MELO, Daniele de Castro Pessoa de; FERREIRA, Dijaci Araújo; SILVA, Ronaldo Faustino. Uso do lodo proveniente dos viveiros de cultivo de peixes na produção de mudas de Pitanga (*Eugenia Uniflora* L.). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 1, p. 276-287, 2022.

ARAÚJO, Flávio de Carvalho.; SCALIZE, Paulo Sérgio.; ALBUQUERQUE, Antonio João Carvalho; ANGELIM, Renato Resende. Caracterização física do resíduo de uma estação de tratamento de água para sua utilização em materiais de construção. **Cerâmica** 61, p. 450-456. 2015.

ARAÚJO, Franciulli da Silva Dantas de. **Influência do lodo de ETE na massa para fabricação de cerâmica vermelha**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. PPGCEM. Natal, RN. 2008.

ARAÚJO, Vanessa dos Santos; SILVA, Mateus Oliveira; BRITO, André Seiva de; SOUSA, Iraneide de Lima; NUNES, Françoyse Carvalho; SOUZA, Juliana Fernanda Monteiro de; OLIVEIRA, Igor Vinicius de; SILVA, Claudete Rosa da; CARVALHO, Fábio Israel Martins;

SILVA, José Nilton da; SILVA, Vicente Filho Alves; SILVA, Priscilla Andrade. Lodo de esgoto e suas potencialidades agrícolas. **Society and Development**, v. 11, n. 3, 2022.

AREIAS, I. O. R.; VIEIRA, C. M. F.; MANHÃES, R. da S. T.; INTORNE, A. C.. Incorporação de lodo de estação de tratamento de esgoto (ETE) em cerâmica vermelha. **Cerâmica** **63**, p. 343-349. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10664**: Águas - Determinação de resíduos (sólidos) - Método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457**: Solos Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

AZEVEDO, Gabriel Pereira. **Produção de carvão ativado a partir de resíduos da indústria de laticínios e *Eichhornia crassipes* (baronesa)**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) - Universidade do Estado da Bahia. Juazeiro, Bahia. 2024.

BEGALI, Matheus Almeida; SOUSA, Rita de Cássia Superbi de; OLIVEIRA, Fernanda França; ODA, Tatiana Yuri Ramos; SILVA, Jordana Benfica. **Aplicação do carvão ativado produzido a partir lodo biológico da indústria de polpa celulósica na adsorção do corante azul de metileno**. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica*. [Proceeding]. Uberlândia, Minas Gerais. 21-24 jul. 2019.

BEZERRA, J. K. A.; LOPES, R. P. F.; BARROS NETO, E. L. de; SOUSA, M. A. S. B.; NUNES, A. O.. Remoção de Cobre (II) em solução aquosa por adsorção usando carvão ativado produzido a partir do lodo doméstico. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 6. 2019.

BORGES, Adalmyr Moraes. Criação de tilápias. **EMATER-DF**. 2º edição. Brasília, Distrito Federal. 2009.

BORGES, Ana Lúcia; OLIVEIRA, Arlene Maria Gomes; GIRARDI, Eduardo Augusto; COELHO, Eugênio Ferreira; ZONTA, Everaldo; XAVIER, Francisco Alisson da Silva; SILVA, Jaevesson da; GOMES, Jayme de Cerqueira; MONTEIRO, José Eduardo Boffino de Almeida; STAFANATO, Juliano Bahiense; SOUZA, Laercio Duarte; SOUZA, Luciano da Silva; SOUZA, Luiz Francisco da Silva; PEREIRA, Marcos Gervasio; FILHO, Mauricio Antonio Coelho; Fonseca, Nelson; ROSA, Raul Castro Carriello; RITZINGER, Rogério; SILVA, Tibério Santos Martins da. Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2 ed. Brasília, DF. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 498**, de 19 de agosto de 2020. Diário Oficial da União: Brasília, Distrito Federal.

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

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)**. Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020. Dispõe sobre fertilizantes orgânicos e biofertilizantes destinados à agricultura. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 2020.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA nº 27, de 5 de junho de 2006. Alterada pela IN SDA nº 7, de 12 de abril de 2016. Diário Oficial da União. Brasília, DF. 2016 (republicação).

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA nº 7 de 12 de abril de 2016. Altera a Instrução Normativa SDA nº 27 de 5 de junho de 2006.

BRASIL. **Ministério da Agricultura e Pecuária**. O Plano Nacional de Fertilizantes. 2022.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia** - Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral. Anuário estatístico 2021. Setor de transformação de não metálicos. Brasília, Distrito Federal.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Diário Oficial da União. Brasília, DF. 2004.

BUENO, Guilherme Wolff; BERNAL, Francisco E. M.; ROUBACH, Rodrigo; SKIPPER-HORTON, James Owen; SAMPAIO, Fernanda Garcia; FIALHO, Naor S.; BUREAU, Dominique P. Modeling of waste outputs in the aquatic environment from a commercial cage farm under neotropical climate conditions. **Aquacult Environ Interact**, v. 15, p. 133-144, 2023.

CALIGARIS, Bruno Santos Abreu; RANGEL, Luis Eduardo Pacifici; POLIDORO, José Carlos; FARIAS, Pedro Igor Veillard. A importância do Plano Nacional de Fertilizantes para o futuro do agronegócio e do Brasil. **Revista de Política Agrícola**, nº 1, p. 3-8. Carta da Agricultura. 2022.

CARRA, Maria Lídia. **Tratamento de efluentes de piscicultura em reatores anaeróbio e aeróbio combinados em série**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

CARVALHO, Emmy Batista Fuser. **Bioestimulador como estratégia para redução da concentração de amônia em viveiros escavados**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Integração Latino Americano - UNILA. Foz do Iguaçu, Paraná, 2025.

CAVALCANTI, J. E. W. A.. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda., 2009.

CAVALCANTI, J. E. W. de A.. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**, 3º edição. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda., 2016. *Chemie*, [S.I.], v. 57, n.º 1, p. 385–470.

CHANG, Zhiyang; LONG, Guangcheng; ZHOU, John; CONG, Ma. Valorization of sewage sludge in the fabrication of construction and building materials: A review. **Conservation and Recycling**, v. 154, March 2020.

COUTO, Gabriela Martucci do. **Utilização da serragem de *Eucalyptus* sp. na preparação de carvões ativados**. 2009. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2009.

COSTA, P. D. de; FURMANSKI, L.; DOMINGUINI, L.. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de casca de nozes para adsorção de azul de metileno. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1272-1285. 2015.

DAUDA, Akeem Babatunde; AJADI, Abdullateef; TOLA-FABUNMI, Adenike Susan; AKINWOLE, Ayoola Olusegun. **Aquaculture and Fisheries**, v. 4, p. 81-88, 2019.

DERBYSHIRE, Frank; JAGTOYEN, Marit; ANDREWS, Rodney; RAO, Apparao; MARTIN-GULLÓN, Ignacio; GRULKE, Eric A.. **Chemistry and Physics of Carbon**, v. 27. New York. Marcel Decker. 2001.

DIAS, Victor Pina; FERNANDES, Eduardo. Fertilizantes: uma visão global sintética. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **BNDES**. Brasília, DF. 2006.

DRAEGER, Adenirson; KAUFMANN, Vander; LIMA, Edson Alves de; MELO, Mateus Nascimento Vieira de; SILVA, Joel Dias da. Aproveitamento do lodo têxtil na produção de briquetes para geração de energia térmica. **REA - Revista de estudos ambientais**, v. 23, n. 01, p. 46-56. 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Fertilizante organomineral. **RedeBiogásFert**. 2025.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS (FIEMG); FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (FEAM). **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica vermelha**. 2013.

FERNANDES, Vanessa Lopes; SOUZA, Pauliana Leão de; LADISLAU, Daniel da Silva; SCHEIBEL, Maiko; BITTENCOURT, Fábio; SIGNOR, Altevir; BOSCOLO, Wilson Rogério. Detecção do *off-flavor* na carne da tilápia-do-Nilo *Oreochromis niloticus* alimentada com dietas contendo diferentes níveis de hidrolisado enzimático de penas. **Interference Journal**, v. 11, p. 1920-1935, 2025.

FIGUEIREDO, Fabiano Moreira; COSTA, Rafaela Lemes da; BOMFIM, Satia Costa; HURTADO, Fernanda Bay. **Qualidade da água na piscicultura**. p. 63-78. 2017.

FILHO, Alaor Valério; KULMAN, Raíssa Xavará; THOLOZAN, Luana Vaz; ALMEIDA, André Ricardo Felkl de; ROSA, Gabriela Silveira da. Preparation and Characterization of Activated Carbon Obtained from Water Treatment Plant Sludge for Removal of Cationic Dye from Wastewater. **Processes**, 8, p. 1549, 2020.

FINATTO, Jordana; ALTMAYER, Taciélen; MARTINI, Maira Cristina; RODRIGUES, Mariano; BASSO, Virgínia; HOEHNE, Lucélia. A importância da utilização da adubação orgânica na agricultura. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 05, n. 04. 2013.

GAO, Mengying; MOU, Cong; OU, Yanyuxin; WAN, Xing; DING, Jianwen. Estimating liquid limits of mixed soils. **Energy Reports**, v. 9, p. 135-141, 2023.

GARCÍA, P. González. Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 1393-1414, 2018.

GONÇALVES, Dayane Batista; MOL, Marcos Paulo Gomes. Destinação final de lodo de esgoto: proposição para auxílio em tomadas de decisão a partir de uma revisão de literatura. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, v. 14, n. 1, 6 abr. 2021.

GUIMARÃES, Veridiana Garcia. **Adsorção-dessorção de partículas neutras em sistemas com superfícies não-idênticas**, 52 f. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Estadual de Maringá. Maringá. 2015.

HARGREAVES, John A.. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. **Aquaculture**, v. 166, p. 181-212, 1998.

HEPP, Christian; MARTÍNEZ, María Paz; BARATTINI, Pier; CROSS, Daniel; VIDAL, Felipe; ALFARO, Marta; ALMONACID, Patricio; CARVAJAL, Adriana; RAMÍREZ, Luis; MUÑOZ, Rodrigo; SALDIVIA, Viola; CÁRCAMO, Cristian; MEDINA, Mirna; CARRASCO, Fabiola; SOTO, Viviana. Resultados preliminares sobre uso de lodos de pisciculturas sobre suelos agropecuarios de origen volcánico de la Patagonia Occidental (Aysén). **Instituto de Investigaciones Agropecuarias**. Centro de Investigación INIA Tamel Aike. Chile, 2012.

HOJO, Ellen Toews Doll; KRAMPE, Mateus Normelho; SLONGO, Vitor Balen; ULSENHEIMER, Isabela. Avaliação de diferentes doses de lodo de tanque de piscicultura na cultura da beterraba. **Revista Thêma et Scientia**, v. 14, n. 2E. Edição Especial Prêmio Saber Científico - IV CityFarm FAG. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da pecuária municipal 2023**. Brasília. IBGE, 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA. Carvão Ativado: INT desenvolve alternativas para obtenção e uso. **INOVATIVA - Revista eletrônica do Instituto Nacional de Tecnologia**, ano 4, n. 18, p. 01-12. 2017.

JUCOSKI, Gládis de Oliveira; CAMBRAIA, José; RIBEIRO, Cleberson; OLIVEIRA, Juraci Alves de. Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 4, p. 720-728. 2016.

JUNIOR, Marsis Cabral; MOTTA, José Francisco Marciano; ALMEIDA, Amilton dos Santos; TANNO, Luiz Carlos. Argilas para Cerâmica Vermelha. **Rochas e Minerais Industriais - CETEM**, 2005.

O'KELLY, Brendan C.. Review of Recent Developments and Understanding of Atterberg Limits Determinations. **Geotechnics**, v. 1, p. 59-75, 2021.

KOKOU, Fotini; FOUNTOULAKI, Eleni. Aquaculture waste production associated with antinutrient presence in common fish feed plant ingredients. **Aquaculture**, v. 495, p. 295-310, 2018.

KULMAN, Raíssa Xavaré. **Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado a partir de lodo da estação de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Pampa. Bagé, Rio Grande do Sul. 2019.

LEIRA, Matheus Hernandes; CUNHA, Luciane Tavares da; BRAZ, Mirian Silvia; MELO, Carlos Cincinato Vieira; BOTELHO, Hortência Aparecida; REGHIM, Lucas Silva. Qualidade da água e seu uso em pisciculturas. **PUBVET - Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.11, n. 1, p. 11-17. 2017.

LENZ, Guilherme Luis; LAPA, Katt Regina; VIANA, Marina Lapa; EMERENCIANO, Maurício Gustavo Coelho. Caracterização preliminar de sólidos da água em um sistema de cultivo integrado de aquaponia e bioflocos. **Arquivos de Ciências do Mar - Labomar**. p. 103-119. 2021.

LIMA, Adriana Ferreira; SILVA, Adriano Prysthon da; RODRIGUES, Ana Paula Oeda; BERGAMIN, Giovani Taffarel; TORATI, Lucas Simon; PEDROZA FILHO, Manoel Xavier; MACIEL, Patricia Oliveira. Qualidade da água: piscicultura familiar. **EMBRAPA - Pesca e Aquicultura**. 2013.

LINS, Thomás Correia; LIMA, André Suêlto Tavares de. Lodo de esgoto como alternativa de fertilização agrícola para o município de Igaci - AL. **Society and Development**, v. 11, n. 08. 2022.

LI, Wen Hong; YUE, Qin Yan; GAO, Bao Yu; MA, Zuo Hao. Preparation and utilization of sludge-based activated carbon for the adsorption of dyes from aqueous solutions. **Chemical Engineering Journal**, v. 171, issue 1, p. 320-327.

LOBO, Thomaz Figueiredo; OLIVEIRA, Fernando Carvalho de; SILVA, Magali Ribeiro da. Uso de lodo de esgoto na produção de mudas clonais de *Eucalyptus*. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 5, Set-Out, 2020, p. 114-126.

LOPES, Jackelline Cristina Ost. Técnico em agropecuária: piscicultura. **E-Tec Brasil**. Florianópolis. 2012.

LOUREIRO, Francisco Eduardo de V. Lápido; MELAMED, Ricardo; NETO, Jackson de Figueiredo. Fertilizantes - Agroindústria & Sustentabilidade. **CETEM**. Ministério da Ciência e Tecnologia. 2008.

LU, G. Q.; LAU, D.D.. **Characterisation of sewage sludge-derived adsorbents for H₂S removal**. Part 2: Surface and pore structural evolution in chemical activation. 1996.

MACÊDO, Lúcia Paula Martins Prado de. **Viabilidade da produção de carvão ativado a partir de resíduos alternativos**. Mestrado. Universidade Católica de Pernambuco. Recife. 2012.

MAHAPATRA, Kalyani; RAMTEKE, D. S.; PALIWAL, L. J.. Production of activated carbon from sludge of food processing industry under controlled pyrolysis and its application for

methylene blue removal. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 95, p. 79-86. 2012.

MELO, Henrique Souto; GONÇALVES, Ana Caroline Machado; TRAVESSAS, Amanda Oliveira; VESTENA, Silvane. Uso de lodo de esgoto na produção e na qualidade de mudas e teores de nutrientes em *Hovenia dulcis* (Rhamnaceae). **Iheringia: Série Botânica**. Jardim Botânico de Porto Alegre. Museu de Ciências Naturais. 2021.

MELO, Valdinar Ferreira; MAIA, Sonicley da Silva; MEDEIROS, Wigna Maria de; GOMIDE, Plínio Henrique de Oliveira; UCHÔA, Sandra Cátia Pereira; SOUZA, Fernando Gomes de; DUARTE, Daniel de Sousa. Sedimentos de tanque de piscicultura na produção de cenoura em sucessão com feijão-caupi. **Agrarian Academic Journal**. 2022.

MORSELLI, Luiza Beatriz Gamboa Araújo; CARMO, Lara Alves Gullo do; QUADRO, Maurício Silveira; ANDREAZZA, Robson;. Lodo de estação de tratamento de água: possibilidade de aplicação no solo. **Scientia Plena**, v. 18, n. 05. Pelotas, RS, 2022.

MENDES, Alessandra Monteiro Salviano. **Introdução a fertilidade do solo**. Curso de Manejo e Conservação do Solo e da Água promovido pela superintendência Federal de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado da Bahia - SFA - BA/SDC/MAPA. Barreiras, BA. 2007.

MOHAMMADI, Mansoureh; ALIZADEH, Adel Mirza; MEYBODI, Neda Mollakhalili. Off-Flavors in Fish: A Review of Potential Development Mechanisms, Identification and Prevention Methods. **Journal of Human Environment and Health Promotion**, v. 7, 2021.

MONTE, Anne Carolayne da Cunha. **Determinação de micronutrientes e macronutrientes secundários em fertilizantes organominerais e mineral misto**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Ceará. Departamento de Química. Fortaleza, 2022.

MONTEIRO, Natali Barbosa. **Características de lodos de estações de tratamento de água desidratados por sistema geotêxtil: estudo de caso**. Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2014.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do; LIMA, Ari Clecius Alves de; VIDAL, Carla Bastos; MELO, Diego de Quadros; RAULINO, Giselle Santiago Cabral. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do; LIMA, Ari Clecius Alves de; VIDAL, Carla Bastos; MELO, Diego de Quadros; RAULINO, Giselle Santiago Cabral. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**, 2ª edição. Fortaleza: Imprensa Universitária. 2020.

NASRAUI, Lucas José; PEREIRA, Dayana Corrêa; KNISS, Cláudia Terezinha; SALVADOR, Renan Picolo; NASCIMENTO, Ana Paula Branco do. Caracterização de Lodo de Tratamento de Esgoto como Matéria-prima Alternativa para Obtenção de Materiais Cerâmicos. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 11, n. 30, 2023.

NEVES, Marcelo Santos; REIS, Alessandra Savazzini dos; SAGRILLO, Viviana Possamai Della; MOSCON, Lucinéa Bayer Poton; FERREIRA, Elvis Pantaleão. Extrusão de massa cerâmica argilosa com a adição de lodo de estação de tratamento de água. **Federação Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial - FENEMI**. Anais do 23º CONEMI - Congresso Internacional de Engenharia Mecânica e Industrial. 2023.

NOGUEIRA, Guilherme Henrique Fonseca; FERREIRA, Douglas Marcos; CONCEIÇÃO, Miriã de Oliveira. Reflexos da alta nos preços dos fertilizantes. **Agroanalysis**. Mercados & Negócios. 2023.

NUNTHAPRECHACHAN, Thitiwan; PENG PANICH, Sitthiphong; HUNSOM, Mali. Adsorptive desulfurization of dibenzothiophene by sewage sludge-derived activated carbon. **Chemical Engineering Journal**, v. 228, p. 263-271. 2013.

ODA, Tatiana Yuri Ramos; REZENDE, Ana Augusta Passos; SOUSA, Rita de Cássia Superbi de; SILVA, Charles Luís da. Produção e caracterização de adsorventes derivados de lodo biológico industrial. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 57081-57092. 2021.

ODA, Tatiana Yuri Ramos. **Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado a partir de lodo biológico de indústrias têxtil e de papel**. 2017. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais. 2017.

OLIVEIRA, Bruna de; GONÇALVES, Elisângela Orlandi de Sousa. Estudo da utilização do lodo de ETA como insumo na cerâmica vermelha. **Revista Eletrônica FACP**, ano XII, nº.24, nov. 2023.

OLIVEIRA, Samantha Ferreira Mendonça de; TENÓRIO, Taísa Menezes; MARQUES, Sheyla Karolina Justino. Caracterização do lodo da Estação de Tratamento de Água (ETA) da cidade de Palmeira dos Índios - Alagoas para potencial aplicação em massas cerâmicas. **Revista Matéria**, v. 28, n. 4, 2023.

OLIVEIRA, Wilian Cesar Gomes de; HOJO, Ellen Toews Doll. Produção de mudas de alface com o uso de lodo de tanque de piscicultura. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, Paraná, Edição Especial, p. 54-63, 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Os objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil**. Brasília: Nações Unidas Brasil, 2015.

OUHAMMOU, Mourad; LAHNINE, Lamyae; MGHAZLI, Safa; HIDAR, Nadia; BOUCHDOUG, Mohamed; JAOUAD, Abderrahim; MANDI, Laila; MAHROUZ, Mostafa. Valorisation of cellulosic waste basic cactus to prepare activated carbon. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 18, p. 133-140. 2019.

PAMUKLOGU, M. Yunus; KARGI, Fikret. Effects of operating parameters on kinetics of copper (II) ion biosorption onto pre-treated powdered waste sludge (PWS). **Enzyme and Microbial Technology**, v. 42, n. 1, p. 76-82. 2007.

PEDROZA FILHO, Manoel Xavier; RODRIGUES, Ana Paula Oeda; REZENDE, Fabricio Pereira. *Dinâmica da produção de tambaqui e demais peixes redondos no Brasil*. **Boletim Ativos da Aquicultura**, ano 2, n. 7, p. 01-05. 2016. Brasília, Distrito Federal.

PEIXE BR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. **Anuário Brasileiro da Piscicultura, PEIXE BR 2024**. 2024.

PINHEIRO, Cyntia Helena Ravena. **Zn, Ni, Cr, Cu, Fe e S em lodo de esgoto: comportamento químico, adsorção e proposta de tratamento.** Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2007.

RAMOS, Paulize H.; GUERREIRO, Mário C.; RESENDE, Eliane C. de; GONÇALVES, Maraísa. Production and characterization of activated carbon prepared from PVA defect coffee. **Revista Química Nova**, v. 32, n. 5, p. 1139-1143, 2009.

REETZ, Harold F. Fertilizantes e seu uso eficiente. **Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA)**. São Paulo, SP. 2017.

REIS, Glaydson Simões dos; LIMA, Eder Claudio; SAMPAIO, Carlos Hoffman. Produção de carvão ativado a partir de lodo de esgoto doméstico e sua aplicação na adsorção do corante preto Remazol 5 em solução aquosa. **Revista E-xacta**, v. 8, n. 2, p. 15-23. 2015. Belo Horizonte, Minas Gerais. Editora UniBH.

RHEINHEIMER, Martin Oscar Witzke. **Remoção de Paracetamol por adsorção em carvão ativado: processo em batelada e coluna de leito fixo.** Trabalho de diplomação em Engenharia Química - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2016.

RIO, Sébastien; BRASQUET, Catherine Faur; COQ, Laurence Le; COURCOUX, Philippe; CLOIREC, Pierre Le. Experimental design methodology for the preparation of carbonaceous sorbents from sewage sludge by chemical activation — application to air and water treatments. **Chemosphere**, v. 58, n. 4, p. 423-437. 2005.

RODRIGUES, Camila Borba; CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira. Lodo de ETA como alternativa à argila na indústria cerâmica: Avaliação da qualidade e desafios. **Cerâmica Industrial - Revista do técnico cerâmico brasileiro**. 2023.

RONQUIM, Carlos Cesar. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. EMBRAPA. 2010.

SANTOS, Adriana Delfino dos; COSCIONE, Aline Renée; VITTI, André César; BOARETTO, Antônio Enedi; COELHO, Antonio Marcos; RAIJ, Bernardo Van; SILVA,

Carlos Alberto; ABREU JUNIOR, Cassio Hamilton; CARMO, Ciríaca A. F. Santana do; SILVA, Claudineia Rodrigues da; ABREU, Cleíde Aparecida de; GIANELLO, Clésio; ANDRADE, Cristiano Alberto de; PÉREZ, Daniel Vidal; CASARINI, Dorothy C. Pinatti; SILVA, Fábio Cesar da; PRATA, Fábio; CARVALHO, Fernando de Campos; SANTOS, Gláucia Cecília Gabrielli dos; CANTARELLA, Heitor; FERNANDES, Henriqueta Maria Gimenes; ANDRADE, João Carlos de; QUAGGIO, José Antônio; CHITOLINA, José Carlos; CUNHA, Luiz Manoel Silva; PAVAN, Marcos Antônio; ROSIAS, Maria Fernanda Georgina Giné; TEDESCO, Mariano José; MIYAZAWA, Mário; ABREU, Mônica Ferreira de; EIRA, Paulo Augusto da; HIGA, Roberto Hiroshi; MASSRUHÁ, Sílvia Maria Fonseca Silveira; GOMES, Taciana Figueiredo; MURAOKA, Takashi; VIEIRA, Waldir; MELO, Wanderley José de; Barreto, Washington de Oliveira. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes, 2º edição. **Embrapa Informação Tecnológica**, 2009.

SCHULTER, Eduardo Pickler; FILHO, José Eustáquio Ribeiro Vieira. **Evolução da piscicultura no Brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia** (Texto para Discussão, No. 2328). Rio de Janeiro: Ipea, 2017.

SEKAR, M.; SAKTHI, V.; RENGARAJ, S.. Kinetics and equilibrium adsorption study of lead(II) onto activated carbon prepared from coconut shell. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 279, p. 307-313, 2004.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Piscicultura: fundamentos da produção de peixes**. Brasília, DF. 2017.

SILVA, Bruno Zimmer da; OLIVEIRA, Renata Farias; TERESINHA, Nádia. Utilização do lodo de ETE para recuperação de áreas degradadas pela agricultura. **7º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade - 7º CONRESOL**. Curitiba, PR, 2024.

SILVA, Iranilza Costa da. Lodo de estação de tratamento de água como material suplementar para produção de materiais de construção civil. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco. **Centro de Tecnologia e Geociência**. Recife, 2025.

SILVA, Jorge Luiz Araújo da. **Reuso de resíduo orgânico da piscicultura como condicionante de solo no semiárido**. 2017. 105 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH, Recife, 2017.

SILVA, Jorge Luiz Araújo da; ARAÚJO, Maria do Socorro Bezerra de; LUDKE, Jorge Vitor; PRIMO, Dário Costa; SOBRAL, Maria do Carmo Martins. Manejo do lodo de tanque escavado em produção de alevinos de tilápia. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, XXX, 2019. p. 01-08. Anais eletrônicos ABES.*

SILVA, José Douglas dos Santos Siqueira; LOPES, Régia Lúcia; TORRES, Dayana Melo; SILVA, Renato Dantas Rocha da. Uso do lodo de ETE na produção de tijolos cerâmicos: Uma revisão sistemática de literatura. **Society and Development**, v. 10, n. 8, 2021.

SILVA, Luiz Carlos da; COSTA, Francimara Souza da; PEREIRA, Bruno Fernando Faria. Reciclagem agrícola de lodo de piscicultura de tanque escavado no ramal do banco em Rio Preto da Eva, Amazonas. 8º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade - 8º CONRESOL. Foz do Iguaçu, 2025.

SOARES, Álvaro Guedes. **Adsorção de gases em carvão ativado de celulignina**. 2001. 154 p. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual de Campinas. São Paulo.

SOBRAL, Lafayette Franco; BARRETTO, Marcos Cabral de Vasconcellos; SILVA, Airon José da; ANJOS, Joézio Luiz dos. Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Aracaju, Sergipe, 2015.

SOUZA, Cristiane Daliassi Ramos de; CARVALHO, Sauro Franceschi de. Avaliação da cinética de adsorção do Negro de Eriocromo T em carvão ativado produzido a partir do lodo de ETA. **Revista Scientia Amazonia**, v. 9, n. 1, C1-C7. 2020.

SOUZA, Cristiele Costa de; MACHADO, Alan Rodrigues Teixeira. Carvão ativado obtido de resíduos agrícolas: adsorvente para remoção de corantes orgânicos dos efluentes têxteis. **Revista Engenharia de Interesse Social**, ano 5, v. 5, n. 5, p. 17-36. 2020.

STREIT, Angélica Fátima Mantelli. **Obtenção de carvão ativado a partir de lodo industrial para a remoção de contaminantes e recuperação de bioálcoois via adsorção.**

2021. 152 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2021.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MOLLER, Ian Max; MURPHY, Angus. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. **Editora Artmed**, 6 ed. Porto Alegre, 2017.

TOLEDO, M. Isidora Bautista; GARCIA, M. Angeles Ferro; UTRILLA, J. Rivera; CASTILLA, Carlos Moreno. Bisphenol a removal from water by activated carbon. Effects of carbon characteristics and solution chemistry. **Environmental Science & Technology**, v. 39, n. 16. 2005.

VERNON-PARRY, K. D. Scanning electron microscopy: an introduction. **III-Vs Review**, v. 13, p. 40-44, 2000.

VERONESE, Renato Baiochi Alves; MOREIRA, Karla Cristina Bentes; SIDEL, Salmo Moreira; D'OLIVEIRA, Maria Carolina de Paula Estevam. Avaliação do uso de cinza do lodo de esgoto como substituição parcial ao uso do cimento em misturas de concreto. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 13, n. 02. 2021.

VIANA, Marcelo Mendes. **Obtenção e utilização de produtos de pirólise do lodo de esgoto para adsorção de poluentes em meio aquoso.** Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2013.

VIDAL, Maria de Fatima. Panorama da piscicultura no Nordeste. **Caderno Setorial ETENE - Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste**, ano 1, n. 3, p. 13-19. 2016.

WEN, Qingbo; LI, Caiting; CAI, Zhihong; ZHANG, Wei; GAO, Hongliang; CHEN, Lijun; ZENG, Guangming; SHU, Xin; ZHAO, Yapei. Study on activated carbon derived from sewage sludge for adsorption of gaseous formaldehyde. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 2, p. 942-947, 2011.

WERLANG, Eliana Betina; SCHNEIDER, Rosana de Cassia de Souza; RODRIGUEZ, Adriane Lawisch; NIEDERSBERG, Carolina. Produção de carvão ativado a partir de resíduos vegetais. **Revista Jovens Pesquisadores**, v. 3, n. 1, p. 159-167, 2013.

ZABOTTO, Alessandro Reinaldo; SANTOS, Patrick Luan Ferreira dos; BROETTO, Fernando; GUERRINI, Iraê Amaral. Uso do lodo de esgoto na composição de substrato para produção de mudas de espécies arbóreas brasileiras. **Revista UNG - Geociências**, n. 21, n. 1, 2022.

ZEISS, Carls. EVO[®] MA and LS Series - Scanning Electron Microscopes. **Operator User Guide**. Cambridge, 2008.