

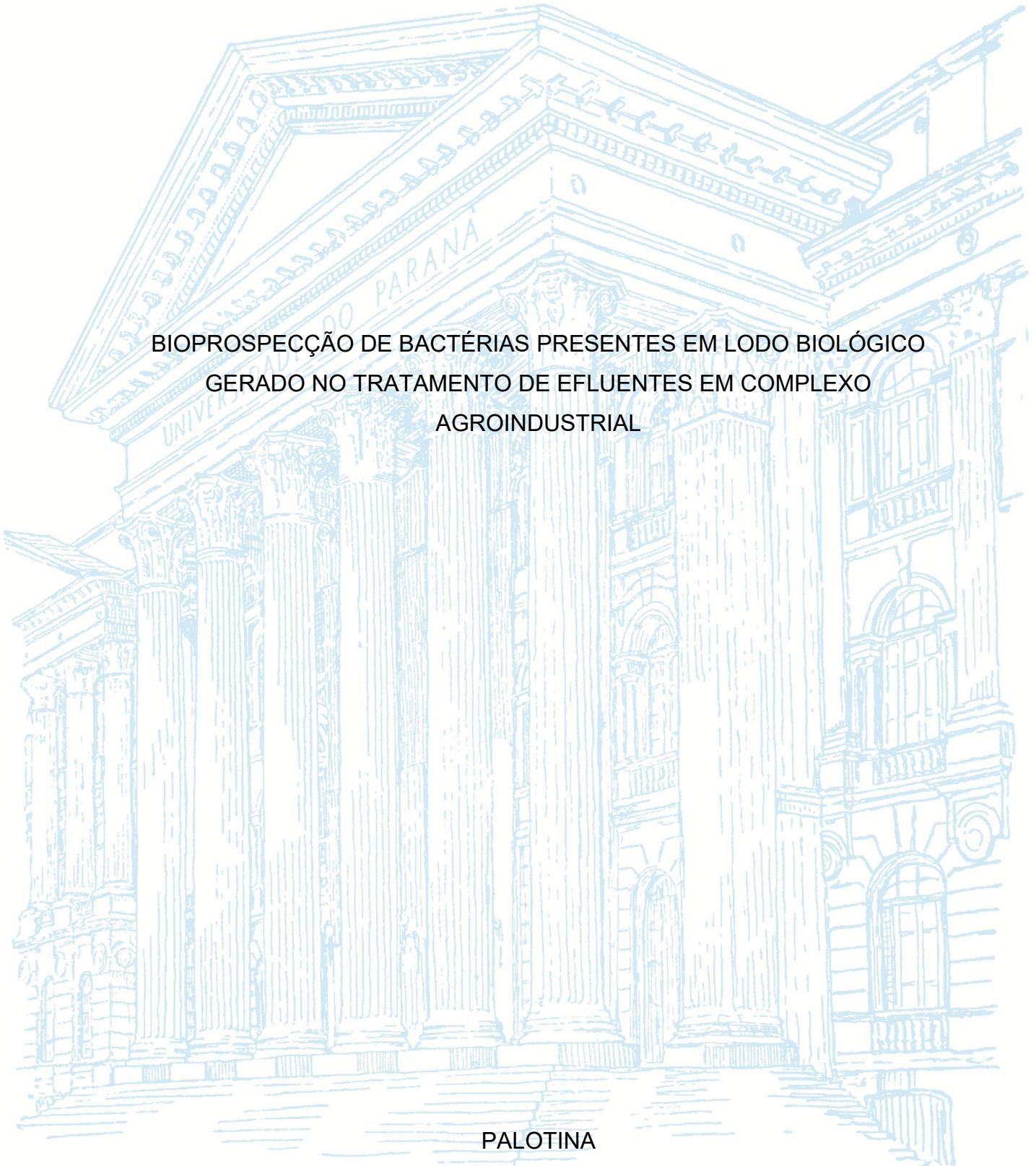
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL VINÍCIUS KEGLER

BIOPROSPECÇÃO DE BACTÉRIAS PRESENTES EM LODO BIOLÓGICO
GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES EM COMPLEXO
AGROINDUSTRIAL

PALOTINA

2025



Gabriel Vinícius Kegler

BIOPROSPECÇÃO DE BACTÉRIAS PRESENTES EM LODO BIOLÓGICO
GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES EM COMPLEXO
AGROINDUSTRIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná, como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Eliane Hermes.

PALOTINA

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E EXATAS
Rua Pioneiro, 2153, - - Bairro Jardim Dallas, Palotina/PR, CEP 85953-128
Telefone: 3360-5000 - <https://ufpr.br/>

ATA DE REUNIÃO

Aos vinte e seis dias do mês de novembro de dois mil e vinte e cinco, às dezenove horas, na Sala 10 do Bloco Didático III, Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, realizou-se a Defesa Pública e Oral do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "Bioprospecção de Bactérias Presentes em Lodo Biológico Gerado no Tratamento de Efluentes em Complexo Agroindustrial", apresentado pelo discente Gabriel Vinicius Kegler, orientado pela Profa. Dra. Eliane Hermes, como um dos requisitos obrigatórios para conclusão do curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Iniciados os trabalhos, a orientadora e Presidente da Banca concedeu a palavra ao discente, para exposição do trabalho. A seguir, foi concedida a palavra em ordem sucessiva aos membros da Banca de Exame, os quais passaram a arguir o discente. Ultimada a defesa, que se desenvolveu nos termos normativos, a Banca de Exame, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo atribuído ao discente as seguintes notas: Profa. Dra. Adriana Fiorini Rosado, nota: 95 (noventa e cinco), Profa. Dra. Raquel Stroher, nota: 95 (noventa e cinco), e Profa. Dra. Eliane Hermes, nota: 95 (noventa e cinco). A nota final do discente, após a média aritmética dos três membros da banca de exame, foi 95 (noventa e cinco). As considerações e sugestões feitas pela Banca de Exame deverão ser atendidas pelo discente sob acompanhamento da orientadora. Nada mais havendo a tratar foi lavrada a presente ata, que, lida e aprovada, vai por todos assinada eletronicamente.



Documento assinado eletronicamente por **ELIANE HERMES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/12/2025, às 14:25, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **RAQUEL STROHER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/12/2025, às 14:32, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **ADRIANA FIORINI ROSADO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/12/2025, às 19:45, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador 8406082 e o código CRC C20F2A11.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todas as pessoas que estiveram presentes nesta trajetória, que de alguma forma contribuíram para a construção deste trabalho.

Aos meus pais, deixo minha gratidão mais profunda, com muito suor, esforço e trabalho, vocês fizeram tudo o que estava ao alcance para que eu chegasse até aqui. Para que eu pudesse estudar, que cada palavra de incentivo foi fundamental para que chegasse aqui.

À minha orientada, Eliane Hermes, deixo meu sincero agradecimento. Em mesmo um momento em que eu pensava em desistir do curso, me acolheu, abrindo as portas do seu laboratório, gesto que me fez reencontrar com o curso e motivação para que continuasse e amando novamente o curso. Ela não foi apenas uma orientadora, mas uma amiga que esteve ao meu lado, levando para sair e jogar vôlei, tornando meus finais de semanas divertidos e alegres. Levarei comigo esses momentos incríveis pra sempre.

Aos meus amigos, tantos os da graduação e aqueles que estiveram comigo mesmo fora, meu sincero obrigado. Vocês foram meu suporte emocional nesses cinco anos. Estiveram presentes nos meus melhores e piores momentos, sempre oferecendo apoio.

Obrigado por cada conversa, cada risada, cada desabafo, por estarem presentes, sejam pessoalmente ou através de uma tela de celular. Vocês foram essenciais, sempre dispostos para me ouvir, a aconselhar e me ajudar a seguir em frente nessa trajetória.

Agradeço também à banca examinadora por aceitar o convite e participar na avaliação deste trabalho, contribuindo com seus conhecimentos e sugestões.

A cada um de vocês, meu eterno obrigado. Este trabalho só existe porque vocês estiveram presentes e fizeram parte da minha história. Levarei vocês todos no meu coração por toda a vida.

RESUMO

O avanço do agronegócio no Brasil tem promovido o aumento da produtividade dos abatedouros. Contudo, o crescimento dessas atividades intensificou a geração de efluentes industriais ricos em matéria orgânica, exigindo tratamentos adequados para atender à legislação ambiental. Entre as alternativas, destaca-se o sistema de lodo ativado, eficiente na remoção de contaminantes, mas que resulta em significativa produção de lodo biológico, uma biomassa microbiana mais estável, com menor odor e reduzida presença de patógenos. Diante disso, este estudo teve como objetivo a bioprospecção do lodo biológico, que consiste na identificação e exploração de microrganismos, com potenciais aplicações industriais e comerciais. A pesquisa visa transformar esse material, que normalmente seria descartado, em um recurso de valor, promovendo sua utilização de maneira sustentável e desenvolvendo novas soluções biotecnológicas. O material foi coletado e encaminhado aos Laboratório de Química Analítica e Análises Ambientais e Laboratório NEMA da UFPR – Setor Palotina, para realização do isolamento e identificação dos microrganismos. Ao final do processo de isolamento, foram identificadas seis variedades bacterianas com base em suas características morfológicas. No teste de coloração de Gram nos microrganismos isolados todos apresentaram-se como Gram-positivos. Posteriormente, o material genético das bactérias foi encaminhado para sequenciamento genético e os resultados identificaram cinco bactérias: *Bacillus pumilus*, *Bacillus cereus* (1 e 2) e *Kurthia gibsonii*. Pesquisas nesse sentido podem promover o aproveitamento sustentável, por meio da exploração da microbiota, trazendo um possível valor agregado ao resíduo. A investigação bibliográfica demonstrou que *Bacillus pumilus* apresenta uma ampla aplicabilidade, se destacando na produção de enzimas, compostos antifúngicos e antibióticos. Já *Bacillus cereus*, de acordo com estudos, mostrou-se promissora principalmente na construção civil, contribuindo para redução de fissuras em concretos e, conseqüentemente para o aumentando sua durabilidade. Por fim, a bactéria *Kurthia gibsonii* ainda conta com poucos estudos voltados ao seu potencial de aproveitamento. No entanto, tem sido investigada como probiótico para o desenvolvimento vegetal, além de apresentar aplicações relacionadas à produção de enzimas voltadas a degradação da celulose. Podemos concluir, a partir da revisão da literatura, que a *Bacillus pumilus* foi a espécie que apresentou maior aplicabilidade, destacando-se pela produção de biossurfactantes, uma característica especialmente relevante no cenário atual, pela elevada demanda por derivados de petróleo.

Palavras-chave: lodo ativado; bioprospecção; microrganismos; potencial biotecnológico; reaproveitamento.

ABSTRACT

The advancement of agribusiness in Brazil, the productivity of slaughterhouses has increased significantly. However, the expansion of these activities has intensified the generation of industrial effluents rich in organic matter, requiring appropriate treatment to comply with environmental regulations. Among the treatment alternatives, the activated sludge system stands out for its efficiency in removing contaminants, although it results in significant production of biological sludge — a more stable microbial biomass with reduced odor and a lower presence of pathogens. In this context, the present study aimed to conduct the bioprospecting of biological sludge, which involves the identification and exploration of microorganisms, enzymes, genes, and compounds with potential industrial and commercial applications. The research seeks to transform this material, which would normally be discarded, into a valuable resource, promoting its sustainable use and fostering the development of new biotechnological solutions. The material was collected and sent to the Analytical Chemistry and Environmental Analysis Laboratory and the NEMA Laboratory at UFPR – Palotina Campus, where the isolation and identification of microorganisms were carried out. At the end of the isolation process, six bacterial varieties were identified based on their morphological characteristics. In the Gram staining test, all isolated microorganisms were found to be Gram-positive. Subsequently, the bacterial genetic material was subjected to genetic sequencing, which identified five bacterial species: *Bacillus pumilus*, *Bacillus cereus* (1 and 2) and *Kurthia gibsonii*. Research in this field can promote sustainable utilization through microbiota exploration, potentially adding value to this residue. The literature review revealed that *Bacillus pumilus* presents wide applicability, standing out in the production of enzymes, antifungal compounds, and antibiotics. *Bacillus cereus*, according to studies, has shown promising potential in the construction industry, particularly in reducing concrete cracks and consequently increasing its durability. Finally, *Kurthia gibsonii* has few studies focusing on its potential applications; however, it has been investigated as a plant growth-promoting probiotic and in enzyme production for cellulose degradation. We can conclude, based on the literature review, that *Bacillus pumilus* was the species with the greatest applicability, standing out for its production of biosurfactants an especially relevant characteristic in the current context of high demand for petroleum-derived products.

Keywords: activated sludge; bioprospecting; microorganisms; biotechnological potential; reuse.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DO LODO ATIVADO.....	17
FIGURA 2 – FLOCO BIOLÓGICO DO LODO ATIVADO	18
FIGURA 3 – MACROMORFOLOGIA DOS ISOLADOS DO LODO BIOLÓGICO.....	27
FIGURA 4 – COLORAÇÃO DE GRAM DOS ISOLADOS DO LODO BIOLÓGICO...28	

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DE EFLUENTES DE ABATEDOURO DE PEIXES.	15
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DE EFLUENTES DE ABATEDOURO DE AVES.	15
TABELA 3 – FUNÇÕES DAS BACTÉRIAS CONSTITUÍDOS NO LODO ATIVADO.	20
TABELA 4 - ASPECTOS MORFOTINTORIAIS DOS ISOLADOS BACTERIANOS. .	28
TABELA 5 - A IDENTIFICAÇÃO DOS ISOLADOS BACTERIANOS, ATRAVÉS DO SEQUENCIAMENTO DA REGIÃO rDNA 16S.	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	12
1.2 JUSTIFICATIVA	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 PRODUÇÃO DE AVES E PEIXES.....	14
2.2 EFLUENTES GERADOS EM ABATEDOUROS DE AVES E PEIXES.....	15
2.3 TRATAMENTO DE LODO ATIVADO	17
2.4 MICROBIOLOGIA DE LODOS ATIVADOS.....	18
2.5 LODO BIOLÓGICO E SUA BIOMASSA.....	21
2.6 APLICAÇÕES DO LODO BIOLÓGICO GERADO NO TRATAMENTO POR LODO ATIVADO	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 LOCAL DE COLETA DO LODO BIOLÓGICO.....	23
3.2 ISOLAMENTO DOS MICRORGANISMOS	23
3.3 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MICRORGANISMOS ISOLADOS 23	
3.4 COLORAÇÃO DE GRAM.....	24
3.5 CARACTERIZAÇÃO MOLECULAR DOS ISOLADOS BACTERIANOS.....	24
3.6 EXTRAÇÃO DO DNA.....	24
3.7 AMPLICAÇÃO DAS AMOSTRAS POR PCR	25
3.8 SEQUENCIAMENTO GENÉTICO.....	26
3.9 ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA DA LITERATURA CIENTÍFICA.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS ISOLADOS	27
4.2 SEQUENCIAMENTO DA REGIÃO 16S	29
4.3 POTENCIAIS APLICAÇÕES PARA AS BACTÉRIAS IDENTIFICADAS NO LODO BIOLÓGICOS.....	30
4.3.1 <i>Bacillus cereus</i>	30
4.3.2 <i>Bacillus pumilus</i>	31
4.3.3 <i>Kurthia gibsonii</i>	32

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

O crescimento do agronegócio no Brasil tem sido impulsionado pelo aumento do consumo interno e pela expansão do mercado de exportação de proteína animal, especialmente na avicultura e na piscicultura. Esses setores têm desempenhado um papel fundamental na economia brasileira, aproveitando a vasta extensão territorial e a rica biodiversidade do país. Com avanços tecnológicos na produção, industrialização e comercialização, o Brasil se destaca como um dos principais produtores mundiais de carne de frango e peixes cultivados (EMBRAPA, 2025). No entanto, o crescimento dessas atividades também tem levado ao aumento na geração de efluentes, que apresentam desafios ambientais significativos.

Esses efluentes precisam passar por métodos de tratamento para que os parâmetros exigidos pela legislação, sendo assim, lançados nos corpos hídricos sem causar danos à fauna. Diante disso, existem diversos métodos de tratamento que são utilizados para adequar os parâmetros do efluente, entre os quais se destaca o método do lodo ativado.

O lodo ativado é um método de tratamento de efluentes amplamente utilizado em várias indústrias, incluindo o setor de abate de aves e peixes. Essa técnica envolve a formação de flocos biológicos em um ambiente aeróbio, onde microrganismos são cultivados para decompor a matéria orgânica presente nos efluentes. A eficácia do lodo ativado na remoção de poluentes orgânicos torna-o uma escolha popular para o tratamento de efluentes industriais (Metcalf e Eddy, 1991; Von Sterling, 2016).

Posteriormente, forma-se o lodo biológico, composto por uma biomassa microbiana, matéria orgânica residual e água. Durante o tratamento com lodos ativados, os microrganismos presentes se proliferam e formam agregados ao longo do tempo, constituindo um corpo biológico. Esse material pode ser aplicado de várias maneiras, sendo as mais comuns a compostagem, a incineração, a fabricação de materiais de construção e o uso na agricultura como fertilizante, entre outras finalidades.

Considerando a diversidade microbiana presente no lodo biológico e seu aproveitamento, a bioprospecção surge como uma ferramenta para investigar quais microrganismo estão presentes nesse meio e revelar suas capacidades.

A bioprospecção microbiana é uma prática, onde vem como a intuição de adquirir conhecimento e a exploração da biodiversidade dos microrganismos presentes em diferentes habitats. Esse processo consiste em buscar, isolar, cultivar, caracterizar e armazenar os microrganismos, com o objetivo de compreender suas funções ecológicas e identificar seu potencial biotecnológico, visando possíveis aplicações científicas e comerciais (FLORA REFLORESTAMENTO, 2025; SYMBIOMICS, 2025).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo a bioprospecção do lodo biológico, que consiste na identificação e exploração de microrganismos com o propósito de um potencial para aplicações industriais e comerciais.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar a bioprospecção do lodo biológico gerado no tratamento de efluentes de um complexo agroindustrial;
- Isolamento e a identificação dos microrganismos presentes nesse material;
- Realizar, a partir da literatura, uma análise das possíveis aplicações biotecnológicas dos microrganismos identificados.

1.2 JUSTIFICATIVA

O abate de animais demanda grandes volumes de água ao longo de todas as etapas do processo, no próprio abate até na higienização dos equipamentos. Essa água, após o uso, torna-se um efluente, caracterizado por elevadas concentrações de óleos e graxas, sangue, sólidos suspensos e matéria orgânica. Quando lançado sem um tratamento adequado nos corpos hídricos, essa água residuária pode causar sérios impactos ambientais para a fauna e até mesmo para a população local.

Com o aumento da taxa de abates, ocorre também uma elevação proporcional na geração de efluentes industriais. Para que esses efluentes possam ser despejados nos corpos hídricos sem causar danos à fauna, existem legislações da Resolução Federal 430/2011 do CONAMA e a Resolução 070/2009 do Conselho Estadual de Meio Ambiente (CEMA) que estabelecem limites e parâmetros específicos. Diante disso, diversos métodos de tratamentos que são aplicados para que os efluentes atendam a esses requisitos, um deles é o método do lodo ativado.

No entanto, esse processo gera um resíduo conhecido como lodo biológico, que, apesar de sua composição rica em microrganismo, ainda é pouco explorado. O aproveitamento desse material representa um desafio, uma vez que o lodo biológico é frequentemente tratado como um resíduo de baixo valor agregado, sendo agravado pela falta de alternativas sustentáveis e economicamente viáveis para sua reutilização.

Este estudo propõe a bioprospecção, visando agregar valor por meio da ação das bactérias presentes e identificar potenciais aplicações para o resíduo, com base na literatura de artigos e trabalhos acadêmicos. Desta forma, pretende-se explorar alternativas sustentáveis que permitam o aproveitamento desse material em novas soluções biotecnológicas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRODUÇÃO DE AVES E PEIXES

O crescimento do agronegócio no Brasil nas últimas décadas está associado principalmente por conta do aumento do consumo interno e à expansão do mercado de exportação de proteína animal. Com os avanços da tecnologia para a produção de insumos, industrialização e comercialização, a participação da avicultura e piscicultura tem desempenhado um papel fundamental, de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2020).

O Brasil com sua expansão territorial vasta com uma rica biodiversidade e uma variedade de bacias hidrográficas, dispostas dentro do seu espaço geográfico, promovendo um grande potencial para a piscicultura no país. De acordo com a Associação Brasileira de Piscicultura (PEIXE BR, 2025), a produção de peixes cultivados em 2023 no Brasil obteve um aumento de 3,1% em comparação com seu ano anterior, em que alcançou 860.355 toneladas. O país é o quarto maior produtor de tilápias (*Oreochromis niloticus*) no mundo, responsável por 64% da produção, sendo o Paraná o maior produtor de peixes, registrando uma produção de aproximadamente de 93.600 toneladas (PEIXES, 2025). Além disso, os cultivos na região oeste do estado representam uma significativa fonte de renda para os pequenos produtores locais, representando 70% da produção do estado em 2020 de acordo com a Secretaria da Agricultura e Abastecimento (SEAB, 2025).

A produção industrial de aves corresponde a cerca de 1,5% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, sendo que no ano de 2021 o setor da avicultura embarcou 4,6 milhões de toneladas, sendo o Brasil o maior exportador no mundo, tendo com seu principal destino Ásia e o Oriente Médio (AGRO.ESTADÃO, 2025). O Paraná atingiu um aumento de 0,7% no primeiro trimestre de 2024, onde foram abatidos cerca de 3,83 milhões de cabeças de frangos em relação ao mesmo período do ano anterior (de 546,9 milhões para 550,7 milhões) de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (CANAL RURAL, 2025). Esta proteína é a mais consumida no Brasil sendo aproximadamente 42 Kg por habitante por ano (Pinto, 2015).

2.2 EFLUENTES GERADOS EM ABATEDOUROS DE AVES E PEIXES

Os efluentes gerados no processo de abate de peixes e aves consistem em uma elevada quantidade de matéria orgânica, sólidos em suspensão, óleos e graxas e alta concentração de nitrogênio total (Kirschnik, 2007; Bustillo-Lecompte e Mehrvar, 2017). Isso se deve pela presença de escamas, gorduras, vísceras, ossos, cabeças, pele, barbatanas, sangue, penas e fezes (Campos, 2020; Simadon, 2021; Bassi e Giroto, 2022; Araujo, 2023;), que são descartados por não possuírem nenhum valor econômico ou baixo valor. Na caracterização destes efluentes pode-se constatar um elevado teor de sólidos totais, turbidez, pH ácido, alta demanda química de oxigênio e a demanda bioquímica de oxigênio. (Ferreira et al., 2008).

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os valores da caracterização dos efluentes gerados em abatedouros de peixes e de aves, respectivamente, correspondentes a cada tipo de abatedouro, conforme dados da literatura.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DE EFLUENTES DE ABATEDOURO DE PEIXES.

Parâmetros	Sone (2013)	Rannov (2021)	Campos (2020)
pH	5,64	4,46	6,3
DQO (mg L ⁻¹)	1.292,50	3.412,5	9.708
DBO (mg L ⁻¹)	725,21	-	-
ST (mg L ⁻¹)	1.200	-	1040
O&G (mg L ⁻¹)	379	2.746,67	-
Nitrogênio Amoniacal (mg L ⁻¹)	-	-	88

FONTE: Adaptado de Sone (2013); Campos (2020) e Rannov (2021).

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DE EFLUENTES DE ABATEDOURO DE AVES.

Parâmetros	Castro et al. (2019)	Damasceno et al. (2009)	Fagnani (2017)
pH	-	6,40	6,2
DQO (mg L ⁻¹)	3835	7.264,0	4.000
DBO (mg L ⁻¹)	1889	-	1.800
ST (mg L ⁻¹)	-	4.510,00	3.000
O&G (mg L ⁻¹)	1127	2.900,00	600
Nitrogênio Amoniacal (mg L ⁻¹)	730.6	-	-

FONTE: Adaptado de Damasceno et al. (2009), Fagnani (2017) e Castro (2019);

Existem dois tipos de separação desses resíduos gerados no abate, a linha “vermelha”, que inclui a parte do abate animal, sangue gerado no processo e parte de higiene do local e os equipamentos, e a linha “verde”, que contém a chegada dos animais e o conteúdo estomacal, que possui altos teores de sólidos suspensos (Araujo, 2023). Os sistemas de tratamento de efluente de abatedouros de animais incluem a maioria dos procedimentos de tratamentos dos resíduos existentes, podendo chegar de simples sedimentação, eliminando sólidos por gravidade, alcançando até em processos mais complexos de tratamentos com sistemas químicos, físicos e biológicos, operando de forma combinada (Araujo, 2023).

A primeira etapa nos processos de tratamento de efluentes, conhecida como tratamento preliminar, desempenha um papel crucial na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). Nessa etapa, o efluente chega contendo uma variedade de materiais grosseiros, nutrientes e outros sólidos dissolvidos. O tratamento preliminar tem como objetivo principal proteger os equipamentos da estação contra entupimentos e obstruções das tubulações. Essa etapa é feita por técnicas como gradeamento, peneiramento e utilização de caixa de areia, entre outros métodos de remoção de sólidos grosseiros (Braille e Cavalcanti, 1993). Essas medidas visam garantir o funcionamento e eficiência contínua da ETE, promovendo a eficácia global dos processos de tratamento de efluentes (Bassi e Giroto, 2022).

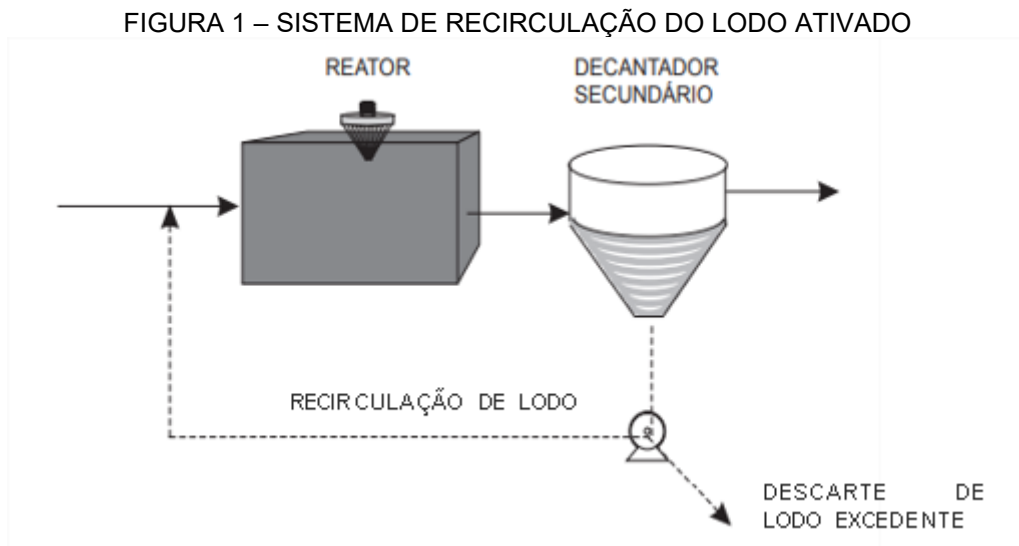
Em seguida tem-se o tratamento primário com o objetivo de remover os sólidos suspensos, decantáveis, óleos e graxas. Nesta etapa, utilizam-se processos físico-químicos como decantação, flotação, coagulação e floculação (De Nardi et al., 2008; De Sena et al, 2008; Simadon, 2021; Bassi e Giroto, 2022).

Já o tratamento secundário é um processo biológico no qual os microrganismos degradam a matéria orgânica biodegradável, sólidos em suspensão e nutrientes como nitrogênio e fósforo, utilizando etapas biológicas anaeróbias e aeróbias (Simadon, 2021; Bassi e Giroto, 2022). Neste tipo de tratamento, enquadram-se os sistemas de lodos ativados, amplamente empregados em frigoríficos devido à sua eficiência da remoção da alta carga orgânica nos efluentes (Sone, 2013). Já as lagoas de estabilização aeradas são consideradas a alternativa mais econômica, embora exijam uma área significativa para sua construção (Metcalf e Eddy, 2003).

2.3 TRATAMENTO DE LODO ATIVADO

O processo de lodos ativados foi concebido em Manchester, Inglaterra, por Arden e Lockett, em 1994, e foi assim denominado, por produzir uma massa com a capacidade de gerar microrganismos ativos, responsáveis pela estabilização aeróbica da matéria orgânica presente no efluentes (Metcalf e Eddy, 1991). Esses sistemas são amplamente adotados para o tratamento efluentes industriais e domésticos, quando não se tem uma grande área de construção e é necessário alcançar uma alta qualidade no efluente tratado (Von Sterling, 2016).

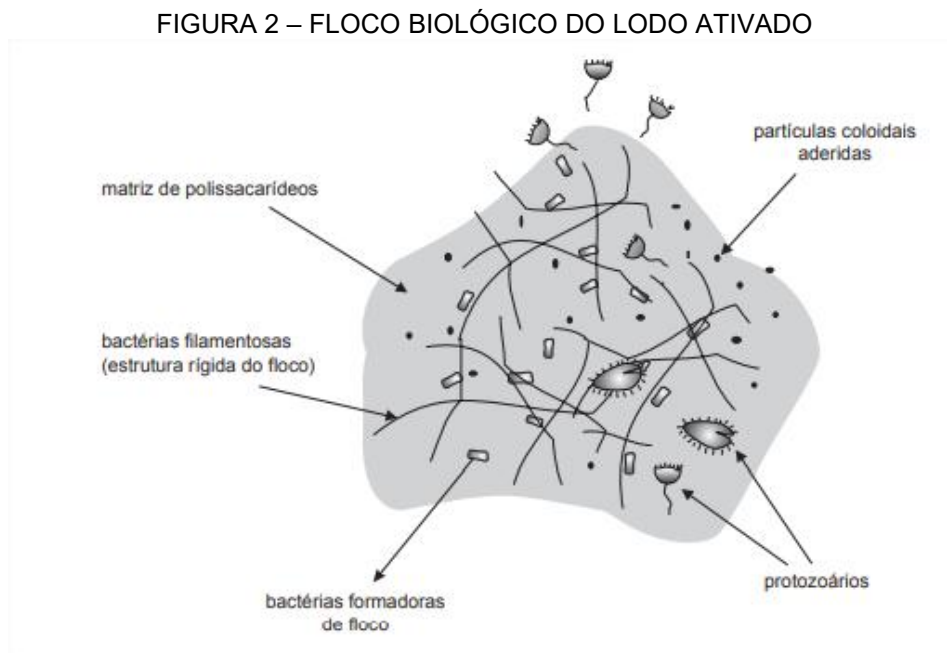
No processo, um conjunto de flocos é formado através do crescimento bacteriano na presença de oxigênio dissolvido e outros organismos em um esgoto bruto ou decantado. Basicamente, o sistema é composto por um tanque de aeração ou um reator biológico, seguido por um tanque de decantação ou decantador secundário, além da recirculação do lodo, (Figura 1). Esses flocos são essenciais para o processo de decomposição da matéria orgânica e nutrientes presentes no efluente, resultando em um tratamento de eficaz do mesmo (Jordão e Pessoa, 2011).



FONTE: Adaptado do Von Sperling (2016).

As reações bioquímicas responsáveis pela remoção da matéria orgânica ocorrem no tanque de aeração, conforme descrito por Von Sperling (2016). O principal objetivo desse processo é fundamentado na oxidação dos compostos

orgânicos e inorgânicos presentes no efluente, realizada por uma variedade de microrganismos mantidos em suspensão em um meio aeróbio (Serviour e Blackall, 1999). Os sólidos biológicos se desenvolvem na forma de flocos e são mantidos em suspensão pelo equipamento de aeração, não necessitando de um suporte físico adicional para a biomassa. Na Figura 2 está representado o floco biológico do lodo ativado.



FONTE: Von Sperling (2016).

O tanque de aeração ou reator biológico tem como principal objetivo criar condições favoráveis para a degradação da carga orgânica do efluente por meio do crescimento bacteriano. Além disso, desempenha papel importante na conversão de substâncias e compostos não sedimentáveis, presentes na forma coloidal ou dissolvida, em flocos biológicos que podem ser removidos do efluentes por decantação (Von Sperling, 2016; Simadon, 2021; Bassi e Giroto, 2022).

2.4 MICROBIOLOGIA DE LODOS ATIVADOS

A composição dos microrganismos no lodo ativado é uma complexa associação, incluindo bactérias, protozoários, fungos e micrometazoários (Bento et al., 2005; Davies, 2005). Dentro do tanque de aeração, ocorre a formação de um

verdadeiro ecossistema, cuja composição é influenciada pela qualidade do substrato e pelas condições ambientais presentes no meio. O lodo biológico é constituído por flocos, formados por fragmentos orgânicos não digeridos, fração orgânica, células mortas e principalmente uma variedade de bactérias. Estes microrganismos são considerados a base estrutural e funcionamento do lodo ativado, representando cerca de 95% da massa ativa do sistema (Além Sobrinho, 1996).

As bactérias desempenham um papel importante no processo, sendo responsáveis pela degradação da matéria orgânica por meio da produção de enzimas. Essas enzimas atuam na hidrólise e oxidação, permitindo nutrientes e energia necessária para o crescimento das bactérias (Além Sobrinho, 1996). A morfologia bacteriana é predominantemente composta por bastonetes Gram-negativos, que possuem ação proteolítica. Também são observadas bactérias filamentosas, presentes no lodo tanto na forma livre no meio quanto integradas os flocos biológicos.

Nos lodos ativados, as bactérias mais comumente encontradas pertencem aos gêneros *Achromobacterium*, *Chromobacterium* (*flavobacterium*) e *Pseudomonas*, além de *Zoogloea ramigera*, que por muito tempo foi considerada a única responsável pela floculação. A *Zoogloea* possui uma forma gelatinosa e é reconhecida ao microscópio por formar estruturas cêntricas (Ponezi, 2000). Entre as bactérias filamentosas, a espécie *Sphaerotilus natans* é a mais comum em lodos ativados, sendo caracterizada pela presença de bainha e ramificação falsa. Esses filamentos são finos, com septos não visíveis. Outras bactérias que também podem estar presentes no processo incluem *Triotix*, *Beggiatoa* e *Nocardia*, entre outras.

O crescimento excessivo de bactérias filamentosas pode dificultar a decantação do lodo, resultando em um estado chamado de entumescimento filamentoso. Por essa razão, é essencial o controle constante da concentração de filamentos para prevenir problemas que, se não tratados a tempo, podem causar perda de sólidos em suspensão no efluente (Ponezi, 2000; Silva, et al., 2014). Na Tabela 3 tem-se as funções de algumas bactérias em sistemas de lodos ativados.

TABELA 3 – FUNÇÕES DAS BACTÉRIAS CONSTITUÍDOS NO LODO ATIVADO.

Gênero de bactérias	Função
<i>Pseudomonas</i>	Remoção de substrato, produção de muco, desnitrificação
<i>Zooglea</i>	Produção de muco, formação do floco
<i>Bacillus</i>	Degradação de proteínas
<i>Athrobacter</i>	Degradação de carboidratos
<i>Microthrix</i>	Degradação de gordura, crescimento filamentosos
<i>Nocardia</i>	Crescimento filamentosos, formação de espuma e escuma
<i>Acinetobacter</i>	Remoção de fósforo
<i>Nitrosomonas</i>	Nitrificação
<i>Nitrobacter</i>	Nitrificação
<i>Achromobacter</i>	Desnitrificação

FONTE: Adaptado de Horan (1990).

Os protozoários são os organismos mais numerosos no lodo ativado, logo após as bactérias, especialmente quando o sistema está operando adequadamente. O principal grupo de protozoários presente no lodo ativado é o dos ciliados, que geralmente representa cerca de 5% do peso seco dos sólidos em suspensão no tanque de aeração. Segundo o Water Pollution Research Laboratory (WPRL, 1965), as espécies de protozoários encontradas no processo do lodo ativado incluem *Aspidisca costata*, *Vorticella nebulifera*, *Vorticella aequilata*, *Vorticella microstoma*, *Vorticella companula*, *Opercularia coarctata*, *Trachelophyllum pusillum*, *Chilodonella uncinata*, *Uronema griseolum*, *Epistylis plicatilis*, *Aspidisca lynceus* e *Colpoda*.

Os fungos não são muito numerosos e, em geral, pertencem ao grupo dos *Deuteromicetos* (fungos imperfeitos). Destacam-se especialmente espécies do gênero *Geotrichum*, que estão associadas ao entumescimento do lodo. Esses fungos tendem a predominar em processos em que ocorrem quedas acentuadas de pH, como *Fusarium*, *Geotrichoides*, *Oospora*, *Phoma*, *Pulularia* e *Sporotrichum* e vários gêneros carnívoros, tais como *Zoophagus*, *Arthrotrichum*. Esses fungos ocorrem particularmente em condições pouco monitoramento no processo de lodo ativado, como baixo pH e deficiente em nitrogênio (Vanzoller, 1989).

A formação dos flocos biológicos ocorre de maneira natural com o aumento do tempo de retenção no sistema. Os flocos são compostos por fragmentos não digeridos, uma fração inorgânica, células mortas e, principalmente por uma grande variedade de bactérias, que se concentram formando uma unidade estrutural. Essa

estrutura é organizada por macroestruturas e microestruturas: a macroestrutura, formada por bactérias filamentosas, atua como o esqueleto do floco, enquanto a microestrutura, que constitui a base do floco, é composta por agregados de células (Figueiredo, 2005).

Esse processo é iniciado pelas bactérias formadoras de flocos, responsáveis pela remoção da matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e sólidos finos do efluente. Além disso, essas bactérias promovem o desenvolvimento de diversos microrganismos, contribuindo para a eficiência global do tratamento (Gerardi, 2006).

2.5 LODO BIOLÓGICO E SUA BIOMASSA

O lodo biológico é gerado a partir da degradação da matéria orgânica por microrganismos durante o tratamento de efluentes, pelo método do lodo ativado, sendo formado na etapa secundária do processo. Sua remoção periódica dos reatores é essencial, pois o acúmulo excessivo pode reduzir a capacidade volumétrica do sistema, impactando o tempo de detenção hidráulica e comprometimento da eficiência operacional (Fernandes e Souza, 2001; Von Sperling, 2014).

A geração de lodo biológico está diretamente vinculada ao metabolismo microbiano que ocorre no sistema de lodo ativado. Nesse processo, os microrganismos utilizam matéria orgânica como fonte de energia, promovendo a manipulação de substâncias químicas. Com o tempo, esses microrganismos formam agregados, constituindo o corpo biológico. Esse lodo é composto principalmente por biomassa microbiana, matéria orgânica residual e água. Nessa etapa, há uma geração significativa de lodo biológico que precisa ser removida. Se essa biomassa não for retirada, pode se acumular no sistema e, eventualmente, ser liberada junto com o efluente final, comprometendo sua qualidade em termos de sólidos suspensos e matéria orgânica (Von Sperling, 1996).

Biomassa é a quantidade total de matéria orgânica, viva ou morta, presente em um determinado sistema biológico. Essa matéria orgânica pode incluir uma ampla variedade de materiais, como plantas, animais, microrganismos e resíduos orgânicos. A biomassa presente nos sistemas de tratamento biológico pode ser dividida em dois grupos: resíduo inerte e biomassa ativa. O resíduo inerte é formado pelo decaimento do lodo envolvido no tratamento do efluente, resultando em

produtos de degradação lenta e inertes ao ataque biológico (Abbasi e Abbasi, 2010; Piazza, 2013; Morgado, 2019).

2.6 APLICAÇÕES DO LODO BIOLÓGICO GERADO NO TRATAMENTO POR LODO ATIVADO

Geralmente o lodo biológico é destinado a compostagem, incineração, fabricação de tijolos e cimento, disposição no solo, cultivo de grama comercial, entre outras finalidades comuns (VERTOWN, 2025; SUPERBAC, 2025).

A compostagem é uma técnica que trata resíduos orgânicos, agropecuários e agroindustriais utilizando microrganismos aeróbios presentes no próprio resíduo. Durante esse processo, ocorre a degradação do material. Além de ser uma forma eficaz de destinação de resíduos, a compostagem também resulta na produção de fertilizantes orgânicos compostos (PRO AMBIENTAL, 2025).

Na agricultura, o lodo biológico pode representar uma alternativa à sua disposição, por conter nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, sendo macronutrientes como nitrogênio, fosforo, cálcio e enxofre, e micronutrientes como cobre, zinco, boro e manganês. A concentração desses elementos pode variar de acordo com o tipo de lodo gerado, porém, em muitos casos, os teores presentes são superiores aos encontrados em adubos organismos tradicionalmente utilizados (Marques, 2002; Lozer, 2012).

Na incineração, o lodo é queimado a 1200 °C, sem a necessidade de combustível adicional, já que o próprio lodo atua como fonte de energia. Durante o processo, os gases resultantes passam por tratamento, minimizando a emissão de substâncias tóxicas. Esse método pode reduzir até 95% da massa inicial do resíduo, evitando o descarte inadequado do lodo (VERTOWN, 2025; SUPERBAC, 2025). Quanto à incineração do lodo, trata-se de um processo capaz de gerar calor e eletricidade, substituindo fontes energéticas convencionas, como óleo combustível ou gás natural. O principal objetivo desse método é reduzir significativamente o volume inicial do lodo e convertê-lo em energia, podendo ser utilizadas nos processos indústrias. As cinzas resultantes do processo podem ser aproveitadas na utilização na composição de cimentos e concretos, uma vez que esse material possui alto teor de metais pesados, contribuindo para as propriedades do material (Junior, 2023).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DE COLETA DO LODO BIOLÓGICO

O material foi coletado no sistema de tratamento de efluentes (ETE) de um abatedouro de aves e peixes localizado na região oeste do Paraná. Além do abate, essa indústria também realiza o processo de produtos termoprocessados, que resulta na geração de um efluente com uma elevada concentração de óleos e farinha. O ponto de coleta foi na saída do resíduo do decantador secundário que compõe o sistema de lodo ativado, sendo as amostras armazenadas em frascos e conduzidas ao Laboratório de Química Analítica e Análises Ambientais, juntamente com o Laboratório NEMA (Núcleo Experimental de Micologia Aplicada), da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina para a isolamento e identificação dos microrganismos.

3.2 ISOLAMENTO DOS MICRORGANISMOS

O isolamento dos microrganismos presentes no lodo biológico foi realizado utilizando a técnica de plaqueamento por diluição seriada em tubos cônicos de 15 mL estéreis, descrito por Ponezi (2005). Para isso, 1 mL da amostra de lodo foi transferido para um tubo contendo 10 mL de solução salina (NaCl) estéril a 0,90% homogeneizados em vórtex por alguns segundos. Em seguida, foram realizadas diluições seriadas em solução salina até o fator de diluição 10^{-6} .

As alíquotas das diluições foram inoculadas em placas contendo o meio PCA (*Plate Count Agar*) em triplicata. Cerca de 100 μ L foram depositados sobre a superfície do meio e a semeadura foi realizada por espalhamento utilizando a alça de Drigalski. Após a inoculação, as placas foram incubadas a 37 °C por 24 h para o desenvolvimento de colônias.

3.3 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MICRORGANISMOS ISOLADOS

A caracterização morfológica das colônias foi realizada por meio de observação visual, considerando aspectos como forma, tamanho, cor e textura. Todas as colônias desenvolvidas nas placas foram analisadas e classificadas com

base em suas características morfológicas, sendo posteriormente realizada a coloração de Gram e isoladas para futuras identificações.

3.4 COLORAÇÃO DE GRAM

Para a realização da coloração de Gram, foi realizado o seguinte protocolo descrito por Strohl et al. (2004). O isolado bacteriano foi fixado na superfície da lâmina de vidro com solução salina estéril 0,90% e em seguida para posterior análise de coloração.

O esfregaço foi coberto com solução de Cristal Violeta por 1 min. Em seguida, o excesso de corante foi removido com água destilada para posterior aplicação do Lugol fraco por 1 min e lavado novamente com água destilada. Para a etapa descorante, foi utilizado Álcool-Acetona por 30 s e lavado novamente com água destilada. Por fim, a lâmina foi coberta com Fucsina durante 45 s e lavada com água destilada. Após período total de secagem, a lâmina foi analisada sob um microscópio óptico para observações das características morfotintoriais.

3.5 CARACTERIZAÇÃO MOLECULAR DOS ISOLADOS BACTERIANOS

Após a realização da etapa de coloração de Gram para determinar as características morfotintoriais, os isolados bacterianos foram previamente cultivados em 10 mL de caldo BHI (*Brain Heart Infusion*), incubado a $37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 h. No dia seguinte, a amostra foi centrifugada 7500 rpm por 10 min até formar um *pellet* celular onde o sobrenadante é descartado. A partir do *pellet* formado, foi realizada a extração do DNA com kit comercial.

3.6 EXTRAÇÃO DO DNA

A extração do DNA foi realizada a partir do kit comercial da Qiagen® DNeasy® Blood & Tissue. O procedimento técnico foi realizado de acordo com o fabricante, seguindo as especificações para bactérias Gram-Positivas. O *pellet* foi ressuscitado em 180 μL do tampão de lise enzimático que contém lisozima e incubado por 30 min em banho-maria a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Após a incubação, 25 μL de proteinase K e 200 μL do tampão AL foram adicionados na amostra e agitados por

vórtex, incubado a 56 °C em banho-maria por 30 min. Em seguida, 200 µL de etanol 100% foram adicionados e misturados por vórtex para completa homogeneização. A mistura foi adicionada em um sistema de coluna com filtração e um tubo de coleta, fornecida pelo kit, e centrifugado 8000 rpm por 1 min. Após a centrifugação, o sobrenadante que passa pelo filtro é descartado e o DNA permanece fixo na membrana de filtração. Para as etapas de lavagem, cerca de 500 µL tampão AW1 foi adicionado e centrifugado mais 1 min a 8000 rpm. Novamente o sobrenadante é descartado e 500 µL do tampão AW2 é adicionado e centrifugado 3 min a 12000 rpm. Por fim, o tubo de coleta é descartado e adicionado um novo tubo de 1,5 mL no sistema de filtração, onde o DNA foi ressuspendido em 200 µL do tampão AE. O tubo foi mantido em temperatura ambiente por 1 min e centrifugado a 8000 rpm por 1 min para completa eluição do DNA. O DNA obtido foi quantificado em espectrofotômetro Nanodrop 2000® (ThermoScientific®) e a integridade das amostras foram analisadas através de eletroforese em gel de agarose 1,5% com tampão TBE 1x (Tris-base 90 mM; Ácido bórico 90 mM; EDTA 2 mM pH 8,0). Após confirmação, as amostras seguiram para a etapa de PCR.

3.7 AMPLICAÇÃO DAS AMOSTRAS POR PCR

A amplificação da região 16S foi realizada através da Reação em Cadeia da Polimerase (PCR) utilizando os *primers* Y1 *forward* (5'-TGGCTCAGAACGAACGCTGGCGGC-3') (YOUNG et al., 1991) e Y3 *reverse* (5'-TACCTTGTTACGACTTCACCCCAGTC-3') (CRUZ, 2001) que produzem uma região de *amplicon* com cerca de 1500 pb. A amplificação foi realizada com o kit da Promega Corporation (GoTaq® DNA Polymerase) constituído de 50 ng de DNA genômico, tampão de PCR 1x contendo 1,5 mM de MgCl₂, 40 mM do mix de dNTP, 1 unidade de *Taq* DNA Polimerase e 10 µM de cada *primer*, em um volume final de 25 µL. As condições de ciclagem foram: 2 min iniciais a 95 °C, e 30 ciclos de 1 min a 95 °C, de 1 min a 57 °C e de 1 min a 72 °C, como extensão final de 5 min a 72 °C. Os produtos amplificados foram visualizados por eletroforese em gel de agarose a 1,5% em tampão TBE 1x utilizando padrão de peso molecular de 100 pb (Ludwig Biotecnologia) com 1 µL de Safer e visualizado em transiluminador LED da Kasvi. Após a confirmação da amplificação por PCR, as amostras seguiram para a etapa de sequenciamento genético.

3.8 SEQUENCIAMENTO GENÉTICO

Para o sequenciamento da região 16S, uma alíquota de 2 µL dos produtos de PCR foi quantificada com o auxílio do Nanodrop2000, onde o grau de pureza foi determinado pela relação A260/280. Após essa quantificação, 100 ng do produto de PCR juntamente com 10 µM dos *primers forward* e *reverse* foram enviados para a empresa Ludwig Biotecnologia (Alvorada, RS), para a realização do sequenciamento, usando o equipamento ABI-Prism 3500 Genetic Analyzer (Applied Biosystems). Os eletroferogramas foram analisados utilizando o *software* BioEdit Sequence Alignment Editor (1997-2013) e utilizando o BLASTn (versão 2.16.0 do BLAST 2.0) e os resultados do sequenciamento foram comparados com as sequências depositadas nos bancos de dados.

3.9 ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA DA LITERATURA CIENTÍFICA

Após a obtenção das sequências e sua análise no BLAST, realizou-se uma investigação bibliográfica utilizando palavras-chave relacionadas ao gênero da bactéria identificada. A busca foi conduzida em plataformas que reúnem artigos e trabalhos acadêmicos, com o objetivo de localizar estudos pertinentes às espécies sequenciadas.

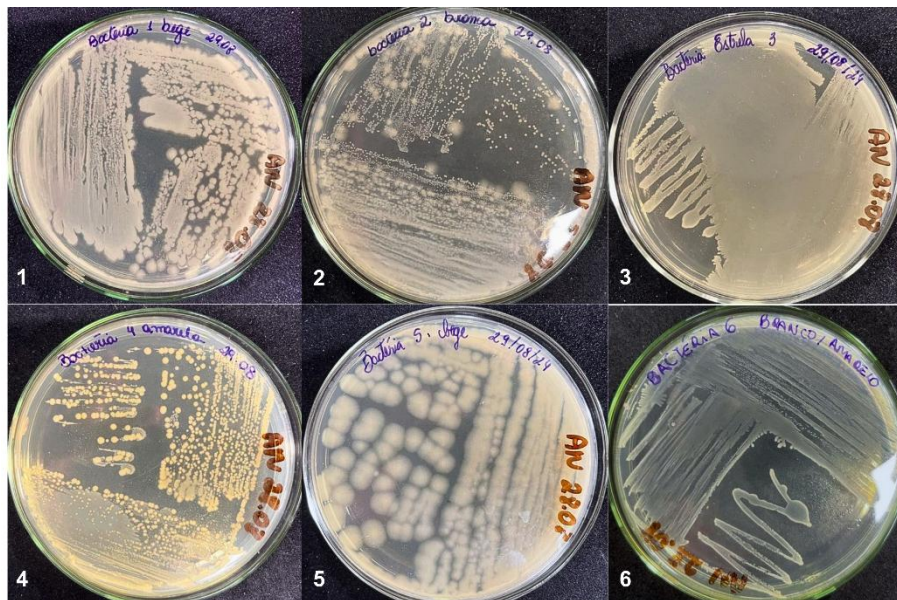
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS ISOLADOS

Após 24 h de incubação, verificou-se um crescimento bacteriano significativo nas placas cultivadas, sendo observado a formação de colônias até a diluição 10^{-3} . No entanto, nos fatores de diluições 10^{-4} em diante, não houve desenvolvimento de colônias, indicando uma redução expressiva na concentração de microrganismos viáveis.

A análise morfológica revelou a presença de seis tipos distintos de colônias bacterianas (Figura 3), diferenciadas pelas suas características da coloração, forma, textura, tamanho e entre outras feitas pela observação visual. As colônias apresentaram tonalidades variando entre amarelo, bege e branco. Algumas colônias exibiram um formato arredondado e superfície brilhante, enquanto outras apresentaram um crescimento mais difuso e irregular, sendo identificadas características diferentes fisiológicas e estruturais das bactérias presentes.

FIGURA 3 – MACROMORFOLOGIA DOS ISOLADOS DO LODO BIOLÓGICO.



FONTE: O autor (2025).

A análise morfotintorial foi realizada para as 6 amostras que foram isoladas a partir do lodo biológico. Os resultados constam na Tabela 4, onde se encontra o arranjo e coloração de Gram de cada isolado bacteriano.

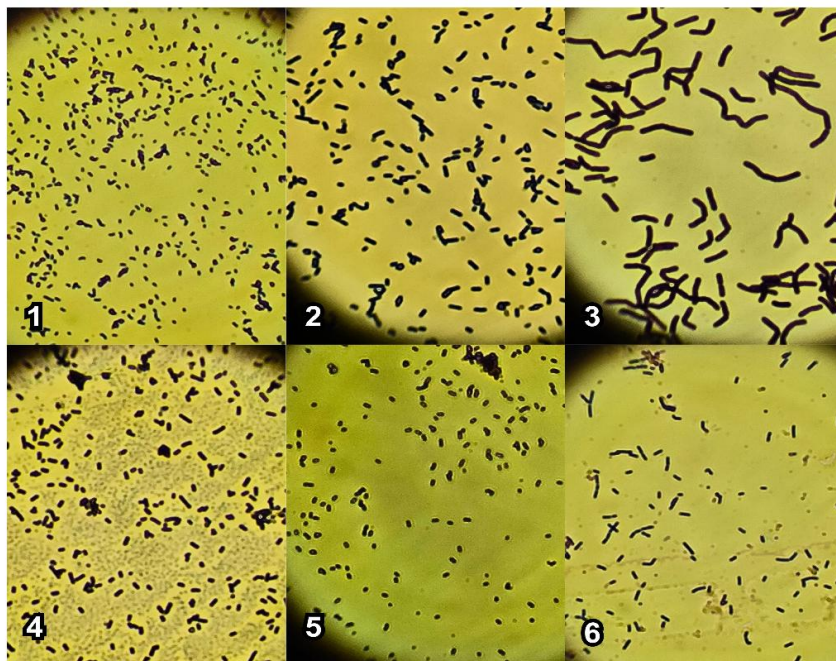
TABELA 4 - ASPECTOS MORFOTINTORIAIS DOS ISOLADOS BACTERIANOS.

Amostras	Arranjo	Coloração de Gram
1	Bacilos	Gram-positivo
2	Bacilos	Gram-positivo
3	Diplobacilos	Gram-positivo
4	Bacilos	Gram-positivo
5	Bacilos	Gram-positivo
6	Bacilos	Gram-positivo

FONTE: O autor (2025).

Nas 6 amostras analisadas, todas foram classificadas como bacilos, sendo que apenas a amostra 3 apresentou a forma de diplobacilo, que corresponde a uma variação dentro do grupo morfológico. Além disso, todas foram identificadas como bactérias gram-positivas (Figura 4). Esse grupo apresenta uma parede celular composta por uma camada espessa de peptidoglicano, essa estrutura unitária e formada por múltiplas camadas sobrepostas conferindo sua rigidez (MOREIRA et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2021).

FIGURA 4 – COLORAÇÃO DE GRAM DOS ISOLADOS DO LODO BIOLÓGICO.



FONTE: O autor (2025).

4.2 SEQUENCIAMENTO DA REGIÃO 16S

Na Tabela 5 tem-se gêneros ou espécies obtidas das bactérias por meio do resultado do sequenciamento. Foi utilizada a ferramenta BLASTn (Basic Local Alignment Search Tool – versão 2.215 do BLAST 2.0) para a identificação dos isolados. A identidade em porcentagem corresponde à similaridade do sequenciamento em relação ao banco de dados e o número de acesso a identificação correspondente de cada isolado.

TABELA 5 - A IDENTIFICAÇÃO DOS ISOLADOS BACTERIANOS, ATRAVÉS DO SEQUENCIAMENTO DA REGIÃO rDNA 16S.

Amostras	Tamanho do amplicon (pb)	Identidade %	Gênero/Espécie	Número de acesso da sequência similar
1	863	91,39%	<i>Bacillus cereus</i>	KP743133.1
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	881	96,08%	<i>Kurthia sp./Khurtia gibsonii</i>	MZ049633.1/ OR898849.1
5	967	98,44%	<i>Bacillus cereus</i>	KT324620.1
6	739	91,51%	<i>Bacillus pumilus</i>	KY510930.1

FONTE: O autor (2025).

Para as bactérias 2 e 3 não foi possível obter resultados conclusivos, mesmo após a utilização do *reverse* da fita, não sendo identificados organismos. Diante disso, a partir dos resultados obtidos pelo sequenciamento das demais bactérias que possuíram identificação, realizou-se uma investigação bibliográfica com o objetivo de identificar potenciais aplicações para esses microrganismos. Essa análise buscou alternativas que possibilitassem o reaproveitamento do lodo biológico, que normalmente seria descartado, promovendo assim a agregação de valor a esse resíduo. Portanto, foram consultados diversos artigos e trabalhos acadêmicos, de modo a propor destinações mais adequadas e aplicáveis para essas bactérias.

4.3 POTENCIAIS APLICAÇÕES PARA AS BACTÉRIAS IDENTIFICADAS NO LODO BIOLÓGICOS

4.3.1 *Bacillus cereus*

As amostras 1 e 5 foram identificadas como *Bacillus cereus*, essa espécie apresenta grande versatilidade, podendo crescer tanto em ambientes aeróbicos quanto em condições anaeróbicas facultativas. É encontrada em diferentes habitats, incluindo água, solo, matéria orgânica em decomposição, raízes de plantas e até mesmo em locais com baixa disponibilidade de nutrientes, como cavernas. Nesses locais, suas características metabólicas possibilitam um aproveitamento mais eficiente dos recursos disponíveis e favorecem a adaptação às condições peculiares desse ambiente (Kulkova et al., 2023).

Algumas cepas de *Bacillus cereus* são consideradas patogênicas, pois produzem enterotoxinas capazes de causar intoxicações alimentares em humanos e animais. Por outro lado, muitas linhagens têm sido exploradas para fins industriais (Mello, 2012; Araujo, 2018; Kulknova et al., 2023).

De acordo com Priyom et al. (2023), *B. cereus* também tem sido estudada no contexto da biomineralização, em razão da produção da enzima urease, responsável pela hidrólise da ureia. Essa atividade promove a formação de carbonato de cálcio, contribuindo para o aumento da resistência e a compressão do concreto, preenchendo cavidades, reduzindo fissuras e diminuindo a porosidade do material, o que melhora sua durabilidade (Huang e Kaewunruen, 2020).

Além disso, Rodrigues et al. (2009) demonstraram que essa bactéria é capaz de produzir diferentes tipos de enzimas, como amilolíticas, esterase, proteolíticas e β -glucosidases. Essas enzimas têm grande importância em setores industriais, na produção de detergentes, indústrias têxteis e de cosméticos. Também apresentam potencial para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis voltadas à produção de combustíveis líquidos (álcool e biodiesel) (Lima, 1997).

Outra linha de aplicação está no uso de *B. cereus* como probiótico, de acordo com Mello (2012), essa bactéria pode ser utilizada na dieta de tilápias-do-Nilo, apresentando resultados significativos para o melhor desenvolvimento dos peixes. Entre os benefícios observados estão o aumento da altura e da quantidade de células da mucosa intestinal, além da elevação dos teores de proteína nos animais.

Além disso, *Bacillus cereus* tem se destacado em pesquisas voltadas ao tratamento de resíduos sólidos e efluentes, principalmente por sua capacidade de tolerar condições ambientais adversas. O estudo do Saleem et al. (2014) evidenciam que essa bactéria pode atuar na redução da toxicidade de compostos presentes em efluentes de indústrias de papel, tornando-os mais seguros para o descarte.

Por fim, Nguyen et al. (2022), utilizaram a bactéria *Bacillus cereus*, isolada do lodo de viveiro de criação de bagres no Vietnã, submetendo-a a diferentes condições de fontes de carbono e nitrogênio suplementadas no meio, com o objetivo de avaliar seu potencial degradador do antibiótico amoxicilina. Onde seus resultados foram promissores, indicando que essa bactéria pode atuar como uma ferramenta biológica eficaz para remoção da amoxicilina no ambiente.

4.3.2 *Bacillus pumilus*

A amostra 6 foi identificada como a bactéria *Bacillus pumilus*. Estudos destacam diversos potenciais biotecnológicos associados a essa espécie, sugerindo possibilidades de seu aproveitamento em processos industriais e geração de valor agregado. O *B. pumilus* é uma bactéria Gram-positiva amplamente encontrada em diversos ambientes como: solos, tecidos de plantas, sedimentos e águas marinhas. Essa espécie apresenta elevada resistência a condições adversas, como baixa disponibilidade de nutrientes, radiação ionizante e radiação UV, demonstrando sua sobrevivência em vários ecossistemas variados (Dobrzynski et al., 2022; Pudova et al., 2022).

É reconhecida por sua capacidade de solubilizar fosfatos, além de produzir sideróforos e fitormônios (Chakraborty et al., 2013). Devido à sua ampla adaptação a diferentes ambientes, essa espécie apresenta elevado potencial de aplicação industrial, destacando-se pela produção de enzimas e diversos bioprodutos. Entre as enzimas destacam-se as proteases e xilanases, capazes de degradar os polissacarídeos presentes na parede celular das plantas. Além disso, também é responsável pela produção de compostos aromatizantes empregados nas indústrias alimentícia e farmacêutica, bem como aplicações na agricultura, onde atua como importante promotora do crescimento vegetal (Dobrzynski et al., 2022; Pudova et al., 2022). Nesse sentido, exerce efeitos diretos sobre o crescimento das plantas ou de

forma indireta, agindo na inibição de organismos patogênicos, pela produção de antibióticos e enzimas.

Segundo Melo (2005) a *B. pumilus* demonstrou a atividade antifúngica contra fungos associados à mandioca, onde foi observado efeito fungicida sobre a germinação dos esporos, criando uma barreira entre a planta e o fungo. Além disso, os lipopeptídeos produzidos por *Bacillus pumilus*, apresentam uma ampla ação frente a potenciais fitopatógenos, incluindo bactérias, fungos e *oomycetes* (Oliveira, 2010), reforçando sua importância no biocontrole de doenças em plantas.

Os biossurfactantes produzidos por *B. pumilus* apresentam grande potencial na biorremediação de poluentes, uma vez que atuam na solubilização e degradação de hidrocarbonetos derivados do petróleo. Em especial os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, além de possuírem a capacidade de quelar íons de metais pesados (Dasgupta et al., 2023; Baptista, 2024).

Bueno (2008), ao avaliar microrganismos isolados de solos contaminados com hidrocarbonetos, identificou a cepa *B. pumilus* para avaliar a produção de biossurfactantes, utilizando baixas concentrações de sacarose como fonte de carbono e óleo diesel como indutor. Pesquisa semelhante realizada por Bento et al. (2003), que caracterizaram biossurfactantes produzidos por populações microbianas de solos contaminados com óleo diesel nos Estados Unidos e na China. A bactéria que se destacou foi a *B. pumilus*, onde reduziu significativamente a tensão superficial e aumentou a emulsificação em 59%.

4.3.3 *Kurthia gibsonii*

Na amostra 4, foi identificada a bactéria *Kurthia gibsonii*. Segundo estudos, trata-se de uma bactéria Gram-positiva e potencial patogênico por alimentos, podendo causar intoxicação alimentares e representar riscos à saúde pública (Tao, et al. 2025). Essa espécie é reconhecida pela sua capacidade causadora da decomposição de peixe-gato, camarão e frango refrigerado, além também estar envolvido na deterioração de tofu (Zhao, et al., 2023).

Estudos demonstrados por Paul (2022) em que a quitinase produzida por *K. gibsonii* apresenta efeito significativo na proteção de sementes contra fungos transmitidos por sementes. O pré-tratamento das sementes com essa enzima não

apenas reduziu a incidência de infecções fúngicas, mas também aumentou a porcentagem de germinação e o vigor das plântulas.

Pesquisas realizadas por Adu et al. (2015), isolaram bactérias em áreas de rejeitos de mandioca e induzindo esse microrganismo a produzir uma enzima celulase termoestável. Outros autores observaram que a atividade enzimática foi potencializada na presença de cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} . Além disso, esse microrganismo foi capaz de crescer nos meios com faixas de pH de 5 a 7, indicando que as celulases produzidas nessas condições apresentem um elevado potencial para aplicações industriais na degradação da celulose.

Segundo Husen (2011), a bactéria *K. gibsonii*, foi testada como agente antifúngico contra diferentes tipos de fungos tais quais: *Fusarium oxysporum*, *Pithium* sp., *Colletotrichum gloeosporioides* e *Corynespora cassiicola*, apresentando resultados promissores como uma alternativa de biocontrole, substituindo a utilização de produtos químicos convencionais. Além disso, destacou sua capacidade de produzir a enzima ACC desaminase e NH_3 . As bactérias produtoras de ACC desaminase são amplamente reconhecidas por promoverem o crescimento das plantas.

Por fim, conforme descrito por Wang et al. (2024), foram investigados os mecanismos de degradação da tilosina pela bactéria *K. gibsonii* TYL-A1. Os resultados indicaram que a exposição ao antibiótico induz a expressão de genes relacionados à resposta antioxidante, permitindo que a cepa lide de forma eficiente com os danos celulares causados pelo estresse oxidativo. Dessa forma, *K. gibsonii* TYL-A1 demonstra elevado potencial como agente biorremediador, capaz de degradar resíduos de tilosina em ambientes contaminados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam o potencial biotecnológico do lodo biológico gerado em um complexo agroindustrial. A partir do isolamento e caracterização dos microrganismos, verificou-se que todas as bactérias isoladas foram classificadas como Gram-positivas. Quanto ao arranjo celular, todas apresentaram morfologia de bacilos, exceto uma amostra, que foi identificada como diplobacilos.

Após o sequenciamento, foi possível identificar quatro bactérias, duas delas foram classificadas como *Bacillus cereus*, possivelmente representando por cepas distintas dessa espécie. Também foram identificadas *Bacillus pumilus* e *Kurthia gibsonii*. Entretanto, duas amostras não apresentaram resultados conclusivos no sequenciamento, mesmo após a tentativa com a fita reversa. Entre as bactérias isoladas que foram identificadas, a literatura evidencia uma ampla gama de possíveis aplicações biotecnológicas, reforçando a relevância desses microrganismos.

A bactéria *Bacillus pumilus* apresentou maior aplicação para seu aproveitamento biotecnológico, visando a valorização futura do lodo biológico proveniente do abatedouro de aves, peixes e termoprocessados, em que o efluente é rico em nutrientes como farinha e gordura. Este microrganismo possui ampla aplicação, destacando-se na produção de enzimas para degradação de matéria vegetal, bem como na síntese de compostos com ação antibiótica e antifúngica. Além disso, é utilizado na produção de biossurfactantes, recurso relevante diante da atual dependência do petróleo. Nesse contexto, em situações de acidentes ou derramamentos, o *Bacillus pumilus* pode atuar de forma eficiente na biodegradação, contribuindo para a diminuição de impactos ambientais.

A bactéria *Bacillus cereus* destacou-se na literatura como principalmente na área da construção civil, por sua aplicação na reparação de fissuras em concretos. Quando incorporada durante a formulação do material, essa bactéria contribui para a redução de espaços vazios que podem surgir devido à presença de bolhas de ar ou de água, aumentando assim a durabilidade e a resistência da estrutura. No caso da *Kurthia gibsonii*, ainda existem poucas pesquisas disponíveis, possivelmente devido à sua patogenicidade. No entanto, os estudos já realizados indicam que essa

bactéria apresenta relevância destacando-se principalmente na biorremediação da tilosina e na produção de enzimas de interesse industrial.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, T.; ABBASI, S. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 14, p. 919–937. 2010.
- ADU, K. T.; KAYDO, R. M. O.; AND ADU, M. D. Physicochemical characterization of celulase produced from *Kurthia gibsonii* (CAC1) isolated from cassava dumpsites in Ibadan, Nigeria. **Ethiopian Journal of Environmental Studies & Management** 8 (Suppl. 1): 738 – 751, 2015.
- AGRO.ESTADÃO. **Conheço a história da criação de frango no Brasil**. Disponível em: <https://agro.estadao.com.br/summit-agro/conheca-a-historia-da-criacao-de-frango-no-brasil>. Acesso em: 15 de mar 2024.
- ALÉM SOBRINHO, P. **II Curso Internacional sobre Controle da Poluição das Águas**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, 1996.
- ARAUJO, M. C. S., **Efeito do Pré-Tratamento Enzimático na Digestão Anaeróbica de Efluentes de Abatedouro de Peixes**, 2023 – Dissertação de Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Ambiental. Universidade Federal do Paraná (UFPR) – Setor Palotina, 2023.
- ARAUJO, T. R. **Aplicação de *Bacillus cereus* e *Enterococcus faecalis*, isolados de bacalhau seco salgado (*Gadus sp.*), no tratamento de resíduos sólidos agroindustriais salinos por compostagem controlada**, 2018. Dissertação de Mestrado na Universidade Federal de Pelotas, 2018.
- BAPTISTA, C. C. X. **Crescimento do *Bacillus pumilus* em meio diversos para produção de biossurfactantes**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal da Paraíba. 2024.
- BASSI, G. H., GIROTTO, C. P., **Tratamento de Efluente de Frigorífico de Aves: Métodos Convencionais e Novas Tecnologias**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Paranaense – UNIPAR (Núcleo de Engenharias e Química Semipresencial), 2022.
- BENTO, A. P. et al. Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 329-338, 2005.
- BUENO, S. M. **Bactérias produtoras de biossurfactantes: isolamento, produção, caracterização e comportamento num sistema modelo**. Tese (doutorado em engenharia e ciência de alimentos), Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, São José do Rio Preto - SP, 86 f, 2008.
- BUSTILLO-LECOMPTE, C.; MEHRVAR, M. Slaughterhouse wastewater: treatment, management and resource recovery. **Physico-Chemical Wastewater Treatment and Resource Recovery**. InTech, 2017.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993.

CAMPOS, E.G.P. **Tratamento de efluente do processamento de peixe utilizando coagulação/sedimentação e flotação**, 2020 - Dissertação de Mestrando em Engenharia Química - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2020.

CANAL RURAL. **Com recordes, abate de bovinos, suínos e aves cresce no segundo semestre de 2025**. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/com-recordes-abate-de-bovinos-suinos-e-aves-cresce-no-segundo-semester-de-2025/>. Acesso em: 21 de out 2025.

CASTRO, R. P. V.; MELLO, V. M.; ALEXANDRE, V. M. F.; CAMMAROTA, M. C. Pré-tratamento físico-químico e enzimático para efluente de abatedouro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 5, p. 975 - 981, 2019.

CHAKRABORTY, U.; CHAKRABORTY, B. N.; ROYCHOWDHURY P. Atividade promotora do crescimento vegetal de *Bacillus pumilus* em chá (*Camellia sinensis*) e seu potencial de biocontrole contra *Poria hypobrunnea*. **Indiano. Fitopatol.**, v. 66, p. 387-396, 2013.

CRUZ, L. M., SOUZA, E. M., WEBER, O.B.; BALDANI, J.I., DÖBEREINER, J., PEDROSA, F.O. 16S ribosomal DNA characterization of nitrogen-fixing bacteria isolated from banana (*Musa spp.*) and pineapple (*Ananascomosus* (L.) Merrill). **Applied and Environmental Microbiology**, v. 67, p. 2375-2379, 2001.

DAMASCENO-JUNIOR, GA., POTT, A., SILVA, JSV. Florestas estacionais do Pantanal, considerações florísticas e subsídios para conservação. **Geografia**, v. 34, n. 143, p. 697-707, 2009.

DAVIES, P.S. **The biological basis of wastewater treatment**. Glasgow, UK: Strathkelvin Instrument Ltd, 2005.

DASGUPTA, A.; SAHA, S.; GANGULI, P.; DAS, I.; DE, D.; CHAUDHURI, S. Characterization of pumilacidin, a lipopeptide biosurfactant produced from *Bacillus pumilus* MITDI1 and its prospect in bioremediation of hazardous pollutants. **Archives of Microbiology**, v. 205, n. 274, 2023.

DE NARDI, I. R.; FUZI, T. P.; DEL NERY, V. Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 52, n. 3, p. 533-544, 2008.

DE SENA, R.F.; MOREIRA, R.F.P.M.; JOSÉ, H.J. Comparison of coagulants and coagulation aids for treatment of meat processing wastewater by column flotation. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 17, p. 8221-8225, 2008.

DOBRZYNSKI, J., JAKUBOWSKA, Z., DYBEK, B. Potential of *Bacillus pumilus* to directly promote plant growth. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, 2022.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Caracterização da Cadeia Produtiva da Tilápia nos Principais Pólos de Produção do Brasil**. 2020 EMBRAPA Pesca e Aquicultura, Palmas. 2020.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Qualidade da carne de aves**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/qualidade-da-carne/carne-de-aves>. Acesso em: 18 de set 2025.

FAGNANI, K. C. **Comparação do potencial energético do lodo gerado no tratamento físico-químico de efluentes provenientes do abate de aves utilizando diferentes coagulantes**, 2017. Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Tecnologia em Bioprodutos Agroindustriais, Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2017.

FERNANDES, F.; SOUZA, S. G. Estabilização de Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, c. v. (Org.) Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. **Rio de Janeiro: RiMa/ABES**. 282 p. cap. 2, p. 29-56, 2001.

FERREIRA, A. C. M. **Recuperação integral e caracterização de biomoléculas do resíduo do processamento da tilápia *Oreochromis niloticus* e suas aplicações na produção de micropartículas**, 2018. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Recife, 2018.

FERREIRA, P.; CUNHA C. L.N.; ROQUE, O. C.C. Avaliação da microfauna no efluente final para monitoramento da qualidade ambiental em estações de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados. **Gaia Scientia**, v. 1(2): 51 – 59, 2008.

FERRANTI, E.M. **Desidratação de lodos de estação de tratamento de água**, 2005. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

FREFLORESTAMENTO - **O que é bioprospecção**. Disponível em: <https://florareflorestamento.com.br/glossario/o-que-e-bioprospeccao/>. Acesso em: 12 de nov. 2025.

FIGUEIREDO, M.G. **Microbiologia de lodos ativados e lagoas aeradas**. Expolabor. Seminário. Agosto. 2005.

GERARDI, M.H. **Wastewater Bacteria**. Hoboken, N.J: Wiley-Interscience, 2006

HORAN, N.J. **Biological wastewater treatment systems: theory and operation**. New York: Wiley, 1990.

HOFFMANN, H. **Caracterização do funcionamento de ete de tipo lodo ativado via imagem microscópica – estudo na região da grande Florianópolis**. XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004.

HUANG, X.; KAEWUNRUEN, S. Self-healing concrete. *In*: HUANG, X.; KAEWUNRUEN, Sakdirat. **New Materials in Civil Engineering**, 2020. p. 825-856. ISBN 9780128189610.

- HUSEN, E. A. T. W. Soybean Response to 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylate Deaminase-Producing *Pseudomonas* under Field Soil Conditions **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v.6 (2), 273 – 278, 2011.
- JENKINS, B. M., BAXTER, L. L.; KOPPEJAN, J. Biomass Combustion. EM R. C. BROWN (Ed.). **Thermochemical Processing of Biomass** (pp. 13-46). Iowa, Iowa: John Wiley; Sons. 2011.
- JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6ª Ed., Rio de Janeiro: ABES, 2011.
- JUNIOR, O. J. **Geração de energia a partir da queima de lodo de esgoto e utilização das cinzas na indústria de construção civil: aspectos logísticos e econômicos**, 2023 - Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) no Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal do Espírito Santo, 2023.
- KIRSCHNIK, P.G. **Avaliação da estabilidade de produtos obtidos de carne mecanicamente separada de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*)**, 2007 - Tese (Doutorado). Jaboticabal: Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, 2007.
- KULKOVA, I.; DOBRZYŃKI, J.; KOWALCZYK, P.; BELZECKI, G.; KRAMKOWSKI, K. Promoção do crescimento de plantas usando *Bacillus cereus*. **International Journal of Molecular Sciences** v. 24, n. 11, p. 9759, 2023.
- LIMA, V. L. E. Os fármacos e a qualidade: Uma breve abordagem. **Química Nova**. v. 20(6), 1997.
- LOZER, J. G. **Desaguamento e Higienização de lodo de esgoto utilizando estufa agrícola sobre leitões de secagem**, 2012. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, 2012.
- MARQUES, M. O.; MELO, W. J.; MARQUES, T. A. **Metais pesados e o uso de biossólido na agricultura**. Biossólido na agricultura. 2 ed. São Paulo: Abes, 2002.
- MELO, F. M. P. **Atividade antifúngica de metabólitos secundários produzidos pelo endófito de mandioca *Bacillus pumilus* MAIM4a**, 2005. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 2005.
- MELLO, H. ***Bacillus cereus bacillus e subtilis* na suplementação dietária de juvenis de Tilápias-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) e seu efeito probiótico**, 2012 - Dissertação de mestrado em Aquicultura. Universidade Estadual Paulista Centro de Aquicultura – CAUNESP. 2012.
- METCALF, L.; EDDY, H. P.; TCHOBANOGLIOUS, G. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. New York: McGraw-Hill, 1991.
- METCALF, L.; EDDY, H. P. **Wastewater Engineering: Treatment and reuse**. 4 th. New York: McGraw-Hill, 2003.

MORGADO, G. A. G. **Estudo da queima de briquetes de biomassa numa caldeira**, 2019 - Dissertação de mestrado em Engenharia Química. Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial – INEGI. 2019.

NGUYEN, T., A., D.; PHAM, M., H.; LAM, N., H.; LE, T., D.; TRAM, B., M.; TRA, T., V.; Capacidade de degradação da amoxicilina por *Bacillus cereus* C1 isolado de lodo de viveiro de bagres no Vietnã. **Elsevier Ltd.** v.8, ed. 11., 2022.

OLIVEIRA, J. G. **Produção de biossurfactantes por *Bacillus pumilus* e avaliação da biorremediação do solo e água contaminados com óleo**, 2010 - Dissertação de mestrado em Microbiologia. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. 2010.

ODA, T. Y. R., **Valorização de lodo biológico e de lixiviado das cinzas da caldeira de recuperação de fábrica de celulose kraft para produção e aplicação de carvão ativado**, 2021. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2021.

PAUL, M. K.; MINI, K. D.; MATHEW, J. Antifungal effects of *Kurthia gibsonii* Mb 126 chitinase as a seed treatment on seed-borne fungi of rice seed on germination percentage and seedling vigor. **Journal of Applied Biology & Biotechnology**, v. 10(4), p. 130-135, Jul-Aug, 2022.

PEIXE BR. Associação Brasileira da Piscicultura. **Anuário 2021**. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2021/> . Acesso em 15 de set 2025.

PLAZZA, F. F., **Efeitos proporcionados à biomassa em sistemas de tratamento de esgotos por lodos ativados pelos fármacos levamisol, trimetropim e sulfadiazina**, 2013. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Campinas. 2013.

PINTO, L. A. M., Aspectos Ambientais do Abate de Aves: Uma Revisão. **Revista UNINGÁ Review** Vol. 22, n.3, pp.44-50 (Abr – Jun 2015)

PIRES, H.A. **Tratamento de efluente da industrialização de pescado com sistema de ultrafiltração**, 2017. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal (Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal), Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2017.

PRIYOM, S. N.; ISLAM, M. M.; ISLAM, G. S.; RAHMAN, M. A.; ZAWAD, M. F.; SHUMI, W. Efficacy of *Bacillus Cereus* Bacteria in Improving Concrete Properties through Bio-precipitation. **Revista Iraniana de Ciência e Tecnologia, Transactions of Civil Engineering**. v. 47, n. 6, p. 3309-3320, 2023.

PRO.AMBIENTAL. **Lodo biológico: Você sabe como tratar e destinar os resíduos de efluentes biológicos**. Disponível em: <https://www.proambientaltecnologia.com.br/lodo-biologico-voce-sabe-como-tratar-e-destinar-os-residuos-de-efluentes-biologicos/>. Acesso em: 15 de out 2025.

PONEZI, A. N. **Tratamento de efluente líquido da indústria cítrica por lodo ativado por batelada (LAB): tratabilidade e microbiologia**, 2000. Dissertação de doutorado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

PONEZI, A. N.; DUARTE, M. C. T.; FILHO, B. C.; FIGUEIREDO, R. F. Análise da biodegradação dos componentes do óleo cítrico por CG/EM e análise da população microbiana de um reator de lodo ativado no tratamento de água residuária de uma indústria cítrica. Engenharia Sanitaria e Ambiental. Rio de Janeiro, RJ, Brazil: **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES**, v. 10, n. 4, p. 278-284, 2005.

PUDOVA, D. S. Comparative genome analysis of two *Bacillus pumilus* strains producing high level of extracelular hydrolases. **Genes**, v. 13, n. 3, 2022.

RANNOV, T. **Efetividade de bactérias lipolíticas no pré-tratamento enzimático de efluente de abatedouro de peixes**, 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Universidade Federal do Paraná. 2021.

RODRIGUES, A. A.; CARRIM, A. J. I.; SADOYMA, G.; VIEIRA, J. D. G. **Potencialidades biotecnológicas de *Bacillus cereus* isolados em uma caverna**. XXX Congresso Brasileiro de Espeleologia. Montes Claros MG, 09-12 de julho de 2009 - Sociedade Brasileira de Espeleologia. 2009.

SALEEM, M.; AHMAD, S.; AHMAD, M. Potential of *Bacillus cereus* for bioremediation of pulp and paper industrial waste. **Annals of Microbiology**. v.64. p.823-829, 2014.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; GONZÁLEZ-VELASCO, M.; BELTRÁN-HEREDIA, J.; Surface water treatment with tannin-based coagulants from Quebracho (*Schinopsis balansae*), **Chemical Engineering Journal**, v. 165, p. 851–858, 2010.

SANCHÉZ, C. G. **Tecnologia de gaseificação de biomassa**. Campinas SP. Editora Átomo. 2010.

SEAB – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Receita na exportação de pescados do Paraná cresce mais de 4.600% em cinco anos**. Disponível em: <https://www.parana.pr.gov.br/aen/Noticia/Receita-na-exportacao-de-pescados-do-Parana-cresce-mais-de-4600-em-cinco-anos#:~:text=S%C3%A9ries%20Especiais-,Receita%20na%20exporta%C3%A7%C3%A3o%20de%20pescados%20do%20Paran%C3%A1%20cresce%20mais%20de,que%20foram%20registradas%20187%20toneladas> Acesso em: 30 de out 2025.

SERVIOUR, R.J., AND BLACKALL, L.L. **The Microbiology of Activated Sludge**. Dordrecht: Kluwer. 1999.

SENA, R.F. **Avaliação da biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia**, 2005. Dissertação Mestrado Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, SC, Brasil, 2005.

SILVA, D. A.; SANTOS, A. A.; BETTENCOURT, G. M.; ZANDONÁ FILHO, A.; RODRIGUES, M. L. F. **Aplicação de lipases fúngicas para a redução de óleos e graxas de efluentes de um abatedouro da região metropolitana de Curitiba**, 2016. Monografia (Tecnólogo em Bioprocessos e Biotecnologia). Universidade Tuiuti do Paraná. Curitiba, 2016

SILVA, D.J. da; MODOLO, M.R.; VARESCHE, M.B.; BLUNDI, C.E.; ZAIAT, M. Tratamento de águas residuárias com alta concentração de lipídios em sistema de reatores combinados enzimático/biológico. In: **Latin American Workshop and Symposium on Anaerobic Digestion**. 2002.

SILVA, G.M. **Biogás Gerado A Partir De Efluente Industrial De Peixes**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Ambiental, Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes, 2021.

SILVA, J.F.X.; RIBEIRO, K.; SILVA, J.F.; CAHÕ, T.B.; BEZERRA, R.S. Utilization of tilapia processing waste for the production of fish protein hydrolysate. **Animal Feed Science And Technology**, v. 196, p. 96-106, out. 2014.

SIMADON, K. G. **Monitoramento de sistema de lodos ativados em efluente industrial por meio de análise microscópica relacionada a parâmetros operacionais**. 2021. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, 2021.

SONE, A. P. **Alternative technology for waswater treatment from fish slaughterhouse**, 2013. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento de Processos – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2013.

STROHL, W. A., ROUSE, H, FISHER, B. D. **Microbiologia Ilustrada**. Porto Alegre: Artmed. 2004. 531 p.

SUPERBAC – **Nature-driven intelligence**. Disponível em: <https://www.superbac.com.br/blog/como-fazer-o-descarte-de-lodo-biologico-corretamente/>. Acesso em: 23 de set 2025.

SYMBIOMICS – **Bioprospeção microbiana: o que é e qual sua importância?**. Disponível em: <https://www.symbiomics.com.br/pt/bioprospecao-microbiana-o-que-e-e-qual-sua-importancia/>. Acesso em: 15 de nov. 2025.

TAO, W.; LIA, W.; AWEYA, J. J.; LIN, R.; JIN, R.; L, D.; REN, Z.; YANGG, S. *Bacillus subtilis* fermented shrimp waste isolated peptide, PVQ9, and its antimicrobial mechanism on four Gram-positive foodborne bacteria. **Food Microbiology**, v. 125. 2025.

THEK, G.; OBERNBERGER, I. **The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilization of Biomass Pellets**. Routledge. 2012.

VANZOLLER. R. F. **Microbiologia de lodos ativados**. São Paulo: CETESB, Série manuais. 1989.

VERTOWN – **Gestão de resíduos**. Disponível em:
<https://www.vertown.com/blog/lodo-biologico-como-sua-empresa-deve-destinar-corretamente/#:~:text=Os%20usos%20ben%C3%A9ficos%20mais%20utilizados,comercial%20e%20planta%C3%A7%C3%B5es%20de%20c%C3%ADtricos>. Acesso em: 23 de out 2025.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados: Princípios Do Tratamento Biológico De Águas Residuárias**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016.

VON SPERLING, M. **Lodo de esgoto: tratamento de disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Universidade Federal de Minas Gerais, 4ª Ed., Belo Horizonte, 2014.

WANG, Y.; ZHAO, B.; ZHANG, J.; KONG, L.; MUHAMMAD, I.; LIANG, X.; YU, X.; GAO, Y. Efficient degradation of tylosin by *Kurthia gibsonii* TYL-A1: performance, pathway, and genomics study. **Microbiology Spectrum**. 2025.