



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 26 – Ano XII – 10/2024
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE DESCONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS CONTAMINADAS POR METAIS TÓXICOS ATRAVÉS DA AÇÃO DO FUNGO *Pleurotus ostreatus*

Me. Maria Paula de Oliveira Santos
Mestre em Tecnologia, Ambiente e Sociedade e Engenheira Hídrica pela
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Teófilo Otoni,
Brasil

Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/1218760972120529>
E-mail: santos.maria@ufvjm.edu.br

Marcus Vinícius Nunes dos Santos
Mestrando em Tecnologia, Ambiente e Sociedade e Engenheiro Civil pela
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Teófilo Otoni,
Brasil

Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/0791598483988854>
E-mail: marcus.nunes@ufvjm.edu.br

Pietro Marcio de Souza Pinheiro
Acadêmico de Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Teófilo Otoni, Brasil
Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brasil.

<https://lattes.cnpq.br/7979526072046215>
E-mail: pietro.pinheiro@ufvjm.edu.br

João Gabriel Lopes Murta Barbosa
Acadêmico de Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Teófilo Otoni, Brasil
Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/9355962595417574>
E-mail: lopes.joao@ufvjm.edu.br

Profa. Dra. Cleide Aparecida Bomfeti
Doutora em Microbiologia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras – UFLA,
Brasil e Gent University – UGENT, Bélgica
Docente do Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia – ICET da Universidade
Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, Brasil
Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/6451716197522417>
E-mail: cleide.bomfeti@ufvjm.edu.br

Resumo: Decorridos oito anos do colapso da barragem de rejeitos de Fundão, em Mariana, Minas Gerais, em novembro de 2015, que resultou no despejo de toneladas de lama tóxica no Rio Doce, ainda é premente a necessidade de se encontrar soluções para restaurar esse ecossistema. A técnica de biorremediação, que utiliza microrganismos para decompor poluentes, consiste em uma alternativa econômica e ambientalmente promissora. Sendo assim, objetivou-se com este trabalho desenvolver um protótipo de sistema de descontaminação de águas contaminadas por metais potencialmente tóxicos através da aplicação de isolados fúngicos do gênero *Pleurotus*. Após as análises verificou-se que o isolado de *Pleurotus ostreatus* apresentou redução nas concentrações dos metais Al, As, Ba, Fe, Mn e Pb entre 32% e 99%. Em conclusão, constatou-se que o protótipo desenvolvido a partir de modelo simplificado indica aplicabilidade futura em sistemas de saneamento.

Palavras-chave: Biorremediação. Saneamento. Fungos. Mariana. Protótipo.

Introdução

A hidrografia brasileira é considerada uma das maiores e mais diversificadas do mundo e sua extensa rede fluvial confere ao país reconhecimento quanto a sua potencialidade hídrica. Dentre os cursos d'água que compõem as importantes regiões brasileiras, o Rio Doce firma-se como sendo protagonista no que se refere ao desenvolvimento da população dos estados que o mesmo atravessa, uma vez que desde o início de sua exploração suas águas foram utilizadas como fonte para aplicação nos setores primário e secundário da economia.

Em novembro de 2015, o desastre ocorrido no município de Mariana/MG, envolvendo o rompimento da Barragem de Fundão, sob a responsabilidade da empresa Samarco, gerou uma lama de rejeitos de minério de aproximadamente 35 milhões de metros cúbicos. A onda devastou o distrito de Bento Rodrigues e seguiu seu curso de destruição por uma extensa área de Mata Atlântica, alcançando o Rio Doce e toda sua extensão até a sua foz no Espírito Santo.

O desastre causou considerável prejuízo socioeconômico, além dos impactos ambientais sobre o ecossistema aquático que se tornaram incalculáveis, provocando alterações dos parâmetros físico-químicos, biológicos e químicos (FELIPPE, 2016). Na ocasião do rompimento, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) informou a presença de metais tóxicos em concentrações acima dos limites permitidos, evidenciando assim problemas sérios quanto à qualidade das águas do rio Doce (IGAM, 2016).

Após oito anos da tragédia ainda é constante a necessidade de se buscar meios de solucionar ou minimizar o problema proveniente da contaminação das águas do Rio Doce. À luz dessa necessidade, processos biorremediadores constituem-se uma importante alternativa para recuperação do ambiente contaminado. Sua premissa básica consiste na aplicação de microrganismos como bactérias e fungos no meio impactado negativamente. Além disso, diversos estudos da área biotecnológica comprovam a eficácia dos mesmos na remoção de poluentes em ambientes contaminados (BALA *et al.*, 2022; AYILARA & BABALOLA, 2023).

Dentre os microrganismos utilizados, os fungos do gênero *Pleurotus* são apontados como promissores em processos de biorremediação, uma vez que apresentam a capacidade de atuar sobre os contaminantes de maneira a alterar sua estrutura, tornando-os compostos mais simples e de fácil degradação (GAYLARDE *et al.*, 2005; KAMIDA *et al.*, 2005; INNES, 2023; IBRAHIM *et al.*, 2024).

Devido à necessidade de se buscar alternativas para minimizar os impactos negativos causados pela lama de rejeitos provenientes do desastre de Mariana-MG, objetivou-se com este trabalho desenvolver um protótipo de um sistema de descontaminação de águas contaminadas por metais tóxicos utilizando uma linhagem do fungo *Pleurotus ostreatus*.

Desastre em Mariana

Em 5 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento dos diques de contenção da barragem de rejeitos do Fundão, no município de Mariana-MG. Cerca de 35 milhões de metros cúbicos de lama percolaram em meio à encosta, destruindo o distrito de Bento Rodrigues, localizado a cerca de 3 km dos diques, ocasionando 19 mortes e incontáveis prejuízos ambientais. A gravidade do acidente gerou inúmeros impactos negativos socioeconômicos à região, entretanto, assinala-se que muitos danos provocados ao ambiente podem ser irreversíveis, uma vez que atingiram diretamente a fauna e flora na área atingida. Além disso, cerca de 80 espécies foram afetadas pela lama de rejeitos e pequenos rios e riachos foram soterrados pela mesma, provocando alterações severas no ecossistema (FELIPPE, 2016).

Como afirma Lopes (2016), os impactos negativos à biodiversidade aquática e a qualidade das águas do Rio Doce serão mensurados em sua totalidade de danos somente em anos de estudos. Com relação a qualidade das águas do respectivo rio, a presença de elevadas concentrações de metais tóxicos tornou-se fator preocupante no que se refere à utilização desse recurso para abastecimento público. Alguns desses metais apresentam características bioacumuladoras e, por consequência, conferem risco à saúde da população que, direta ou indiretamente, tenha contato com as águas desse curso d'água (DIAS *et al.*, 2018).

Dentre as cidades afetadas pela lama de rejeitos, Governador Valadares é considerado um importante município dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e teve seu fornecimento de água comprometido na ocasião do desastre. Atualmente, o município ainda utiliza o Rio Doce como fonte de captação de água, entretanto, a população local sente-se insegura quanto ao consumo dessas águas (RIBEIRO *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023). Sabe-se, ainda, que as configurações atuais dos sistemas de tratamento de água convencionais não preveem a retirada de metais.

Sendo assim, em meio ao problema ambiental, continuamente estudos têm sido levantados para avaliar e determinar os caminhos a serem seguidos para a recuperação das áreas devastadas, bem como determinar a real extensão dos danos. Dessa forma, entendida a importância da bacia do Rio Doce nas atividades ambientais, socioeconômicas e políticas da região, faz-se necessária a busca de

alternativas para minimizar os impactos sobre as águas contaminadas do rio Doce (JACOBI, 2015; RIBEIRO *et al.*, 2023).

Fungos do Gênero *Pleurotus*

Os fungos fazem um importante papel de reciclagem da matéria orgânica no ambiente, uma vez que conseguem decompor uma vasta variedade de componentes (TORTORA & FUNKE, 2012; SANTOS, 2014).

Na classificação dos fungos temos os basidiomicetos, comumente conhecidos como cogumelos, que são fungos decompositores de matéria orgânica. O basidiomiceto conhecido como fungo da podridão branca, *Pleurotus ostreatus*, é capaz de degradar compostos como celulose, hemicelulose e a lignina. A lignina, por sua vez, tem em sua composição compostos fenólicos que são difíceis de serem quebrados e por este motivo as enzimas degradadoras dos basidiomicetos vem sendo estudadas para o processo de biorremediação (BALAN & MONTEIRO, 2001; KAPAHÍ & SACHDEVA, 2017; INNES, 2023; WANCURA *et al.*, 2024).

Foi descoberto também, que os fungos capazes de degradar lignina (lignolíticos) como os do gênero *Pleurotus*, são capazes de condensar altas concentrações de metais tóxicos (DHAWALE *et al.*, 1996; KAPAHÍ & SACHDEVA, 2017; WANCURA *et al.*, 2024), sendo capazes também de reduzir e remediar as toxicidades dos elementos em variados ambientes, com enfoque em solos contaminados e rejeitos industriais, o que os tornam uma alternativa promissora na recuperação ambiental (BRESSA *et al.*, 1998; FAVERO *et al.*, 1990, McFARLAND & QIU, 1995; INNES, 2023).

Qualidade da água

Uma vez que a água pode se apresentar em diferentes níveis de qualidade dependendo da função, origem e tratamento são necessários estabelecer padrões para sua utilização e consumo humano. Para tanto, tem-se o Ministério da Saúde como o órgão responsável por definir quais são as características adequadas para que a água possa ser consumida pelos seres humanos sem causar danos à saúde. A legislação que define os conceitos importantes sobre a água que consumimos se

encontra na Portaria nº 2914/2011 que define os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Segundo a Portaria nº 2914 de 2011:

- I. Água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem.
- II. Água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido na Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde e que não ofereça riscos à saúde.
- III. Água tratada: água submetida a processos físicos, químicos ou combinação destes, visando atender ao padrão de potabilidade.
- IV. Sistema de abastecimento de água para consumo humano: instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição.
- V. Controle da qualidade da água para consumo humano: conjunto de atividades exercidas regularmente pelo responsável pelo sistema de abastecimento de água, destinado a verificar se a água fornecida à população é potável, de forma a assegurar a manutenção desta condição.

Por outro lado, a NBR 12.216 (ABNT, 1992) define os tratamentos mínimos necessários a cada tipo de água que serão destinados às estações de tratamento para abastecimento público. Assim, segundo a norma para os tipos de águas naturais A, B, C e D o tratamento indicado será:

- Tipo A: desinfecção e correção do pH;
- Tipo B: decantação simples, filtração precedida ou não de decantação, para água de turbidez inferior a 40 NTU e cor inferior a 20 UH;
- Tipo C: coagulação, que pode ser seguida ou não de decantação, filtração em filtros rápidos, desinfecção e correção do pH;

- Tipo D: tratamento mínimo do Tipo C e tratamento complementar apropriado a cada caso.

O art. 3º da Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007, considera o abastecimento de água potável constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição como sendo serviços de saneamento básico (BRASIL, 2010, p.1).

Protótipos

Os protótipos podem ser entendidos ou considerados como modelos funcionais que são construídos tendo como base especificações preliminares a fim de simular a aparência e função de um produto, ainda não desenvolvido. Em geral os protótipos não são funcionais, o que impede de serem testados nas condições reais de funcionamento (ALMEIDA, 2010).

Complementando essa ideia, o protótipo é uma ferramenta importante na fase de desenvolvimento e testes, pois ele pode mostrar os problemas técnicos do produto, antes que sejam construídos mais produtos iguais, evitando custos desnecessários (PMI, 2015). A criação de um protótipo é uma das etapas mais importantes no desenvolvimento de um produto, e é nela que erros serão analisados por meio de testes mais detalhados e onde os ajustes poderão ser feitos de forma mais precisa, validando uma ideia ou proposta (MIETTI & VENDRAMETO, 2000).

Metodologia

Em março de 2018 foi realizada uma coleta de amostras de águas superficiais do Rio Doce na cidade de Governador Valadares/ MG. A coleta em questão ocorreu no ponto denominado P1, cuja localização encontra-se próxima ao local de captação do Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município (S 18°52'55.31" e W 41°57'1.86"). Para a coleta das amostras foi utilizada a metodologia de coleta e armazenagem proposta pela CETESB (CETESB, 2016), no Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos.

Descrição do Protótipo

Este tópico tem como o objetivo apresentar a confecção do protótipo do sistema de descontaminação. No primeiro momento será apresentado o detalhamento de materiais com suas respectivas funções. Em seguida, será descrita a metodologia utilizada para o tratamento da amostra contaminada fazendo uso do mesmo.

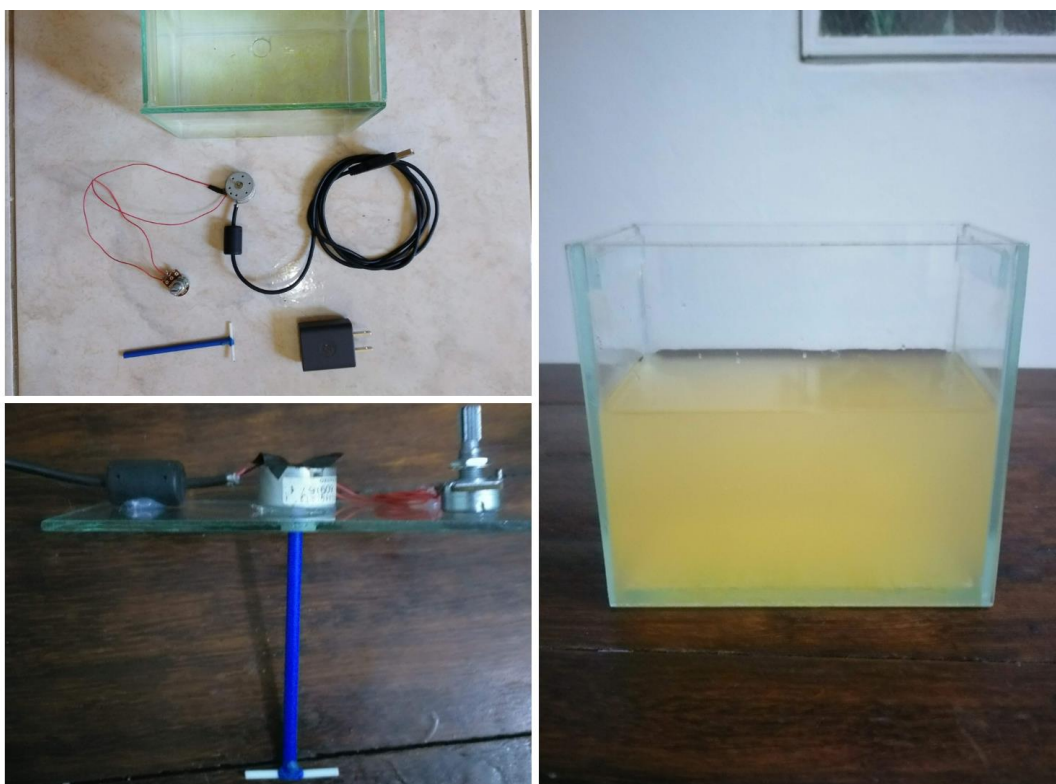
Confecção

O protótipo do tanque de descontaminação foi construído a partir de um recipiente retangular e tampa de vidro, de dimensões 14,0 cm x 13,0 cm x 8,0 cm expressas em comprimento, altura e largura, respectivamente, e volume máximo de armazenamento de 1,5 litros. Foi dividido em três componentes principais, sendo eles o reservatório, o mecanismo de agitação e o sistema de fornecimento de energia.

O sistema de agitação foi montado utilizando uma haste plástica em formato de T, que desempenha o papel de eixo do motor junto às lâminas do misturador. Um motor de 5 volts, com eixo estendido de 6 mm, e um potenciômetro de 20K Ω foram incorporados para permitir o ajuste preciso da rotação do motor. O objetivo principal desse arranjo foi para promover a movimentação da água, facilitando a aeração, essencial para o crescimento do fungo e para garantir o contato contínuo entre o fluido poluído e o agente de remediação. Esse mecanismo é semelhante aos misturadores verticais de pás retas, frequentemente usados no processo de floculação em Estações de Tratamento de Água, também conhecidos como reatores de tanque agitado.

O sistema de energia é responsável por alimentar o motor com energia elétrica. O conjunto inclui um cabo USB conectado ao motor por meio de solda, além de uma fonte de energia que fornece 5 volts e 1,0 ampere de saída. A Figura 1 ilustra este conjunto.

Figura 1 – Reservatório, Sistema de Agitação e Sistema de Energia



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

O protótipo totalmente finalizado é apresentado na Figura 2 a seguir.

Figura 2 – Montagem Final de Protótipo

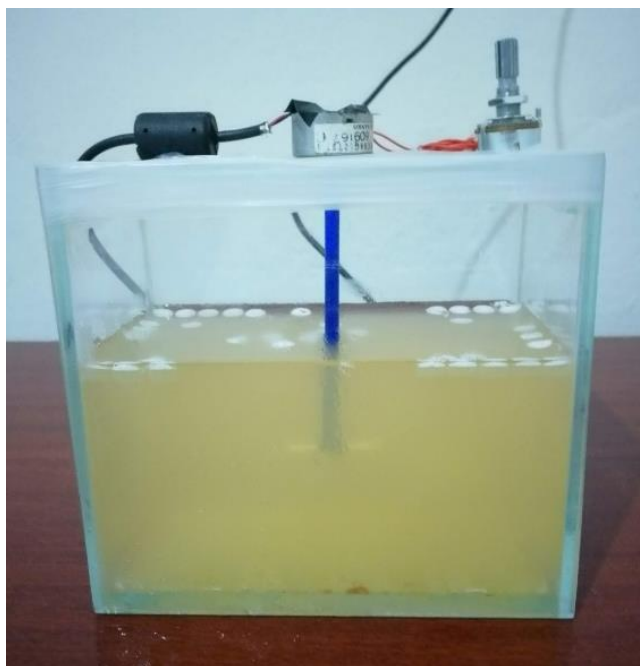


Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Tratamento das amostras com um isolado fúngico via protótipo

A respeito do tratamento via protótipo, foi utilizada uma linhagem do fungo *Pleurotus ostreatus*, denominada SB. No ensaio laboratorial 35 discos, de 1 cm de diâmetro cada, foram inoculados em 700 mL de águas contaminadas do Rio Doce, amostradas em 2018, conforme Figura 3.

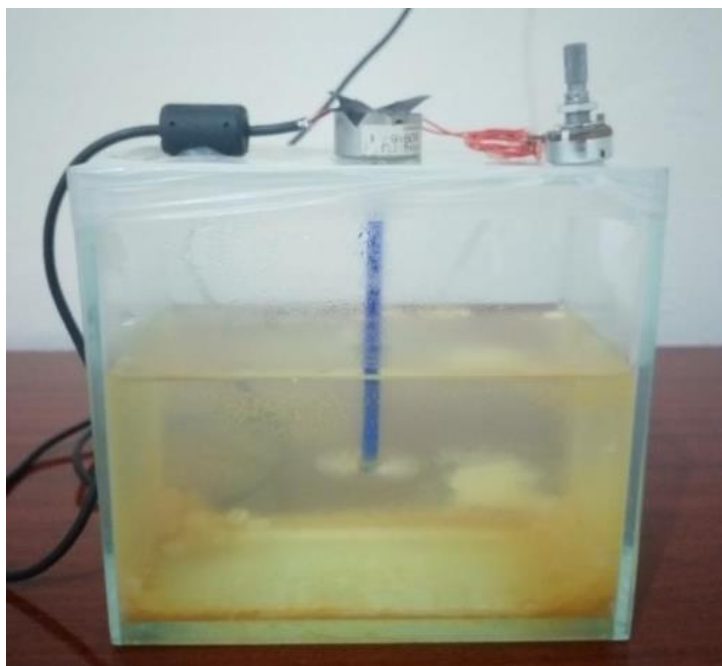
Figura 3 – Tratamento de água do Rio Doce com o isolado fúngico via protótipo



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Na sequência foi acionado o sistema de agitação/aeração do protótipo de tal maneira que a velocidade do agitador promovesse o movimento da água e não danificasse os discos do fungo. O experimento permaneceu em funcionamento durante 7 (sete) dias a temperatura ambiente como mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Protótipo pós-tratamento fúngico



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Determinação de metais tóxicos

As amostras de água tratada e amostra controle foram digeridas com HNO_3 em um béquer. As amostras foram então diluídas com água ultrapura até um volume final de 50 mL. As amostras foram então filtradas (papel filtro Whatman, grau 1: 11 μm), e as concentrações de Al, As, Ba, Mn e Pb foram determinadas usando um Espectrômetro de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS), modelo NexION 300D (PerkinElmer Inc., Alemanha).

Foi utilizado um nebulizador Meinhard e câmara de pulverização ciclônica de quartzo para nebulização contínua. As condições de operação foram: gás nebulizador: 0,95 L/min; gás auxiliar: 1,2 L/min; gás plasma: 15 L/min; tensão: 7,25 V; Potência de RF ICP: 1100 W; $\text{CeO/Ce}=0,031$; e $\text{Ba}^{++}/\text{Ba}^{+}=0,016$. Soluções padrão dos elementos foram preparadas diluindo soluções estoque (PerkinElmer) contendo 100 mg/mL de cada elemento. As concentrações de metais tóxicos foram apresentados em $\mu\text{g/L}$ de água.

Resultados e Discussão

Para garantir que a água seja adequada para consumo, ela deve ser incolor e isenta de turbidez. A turbidez refere-se à opacidade da água causada pela presença de partículas suspensas, ou seja, que não se dissolvem em solução, como é o caso de argilas, sedimentos, fitoplâncton e outras substâncias microscópicas. Essas partículas dispersam e absorvem a luz que passa através da água, resultando em uma menor transparência, conferindo, portanto, um aspecto turvo à água. Sendo assim, quanto maior a turbidez, maior a quantidade de partículas em suspensão, o que pode indicar a presença de contaminantes que podem ser prejudiciais à saúde humana (LIMA *et al.*, 2015).

Neste sentido, Santos *et al.* (2019) aplicou o mesmo protótipo para a análise de turbidez das amostras coletadas no Rio Doce em 2018. Na ocasião, o grupo de pesquisadores obteve uma redução de 95,16% do valor inicial de turbidez, de 330 UNT (sem tratamento fúngico) para 16 UNT (via tratamento com protótipo) (Santos *et al.*, 2019). O parâmetro turbidez indica que o fungo apresenta comportamento biorremediador semelhante tanto para o tratamento laboratorial quanto para o tratamento em ambientes não controlados. Baseado nisso, seria possível aplicar este fungo em sistema de tratamento em escala real tanto para o de redução de turbidez quanto na retirada de metais tóxicos das águas para abastecimento público. As análises de metais foram realizadas posteriormente ao ensaio de turbidez e estão apresentadas neste estudo.

Além disso, previamente o grupo do Laboratório de Análises Biomoleculares da UFVJM, na ocasião do desastre da Samarco S.A., determinou concentrações acima dos valores limites estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 357/2005 para os elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Bário (Ba), Chumbo (Pb), Ferro (Fe) e Manganês (Mn). Estes, portanto, foram os elementos potencialmente tóxicos investigados neste ensaio.

Na Tabela 1 estão sintetizados os resultados de redução das concentrações de metais tóxicos das amostras de água após tratamento com *Pleurotus ostreatus* para o protótipo testado. No geral, o sistema de descontaminação com o uso da linhagem de *Pleurotus* foi eficiente em reduzir acima dos 93% as concentrações

iniciais dos metais potencialmente tóxicos Al, Mn, Fe e Pb e reduzir parcialmente, com valores superiores a 32%, os elementos As e Ba.

Tabela 1 – Redução das concentrações de metais tóxicos da água do rio Doce após tratamento com *Pleurotus ostreatus*.

Metal	Valores Limites	Amostra Controle	Amostra após tratamento	Redução (%)
	($\mu\text{g.L}^{-1}$)*	($\mu\text{g.L}^{-1}$)	($\mu\text{g.L}^{-1}$)	
As	0,14	0,62	0,40	35,48
Al	100	406,02	28,09	93,08
Mn	100	30,26	1,96	93,52
Fe	300	1.321,91	0,68	99,95
Pb	10	0,72	0,02	97,08
Ba	700	35,12	23,54	32,97

*Valores de acordo com as Resoluções Conama nº 357/2005 e nº 430/2011 para rios Classe 2.

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Os resultados descritos acima corroboram com o obtido por Santos *et al.* (2021), que aplicaram a mesma metodologia a partir de ensaio de bancada conduzido com linhagem de *Pleurotus ostreatus* aplicada às amostras de águas contaminadas do Rio Doce. Entretanto, para esta fase da pesquisa, o destaque se concentra no uso do sistema de floculador com misturador de eixo vertical, operando em batelada, como o método de descontaminação escolhido. Este sistema proporciona um controle preciso das condições de mistura e sedimentação, elementos essenciais para otimizar a remoção de contaminantes, como metais potencialmente tóxicos e pesados.

Além disso, a viabilidade da aplicação do sistema em batelada é ressaltada por sua flexibilidade e controle operacional, permitindo ajustes rápidos conforme necessário, um aspecto crucial ao lidar com diferentes níveis de contaminação e volumes de efluentes. Salienta-se, ainda, que neste método é possível a otimização

da planta de locação do conjunto de tratamento, uma vez que há a possibilidade de adequação às ETEs compactas, com módulos reduzidos, para melhor aproveitamento de espaço e economia de custos de operação e manutenção.

Os reatores em batelada representam uma tecnologia avançada no tratamento de água, aproveitando a ação de microrganismos para eliminar contaminantes de forma eficaz. Convencionalmente, estes reatores utilizam ora agentes químicos ora o metabolismo bacteriano como agentes de remoção de metais tóxicos e turbidez, respectivamente. No entanto, baseado nas características de operação do floculador, propõe-se o dimensionamento de um sistema para descontaminação de águas em que substitua-se o agente químico por um agente biológico: os fungos do gênero *Pleurotus*, com a principal função de reduzir tanto os níveis de turbidez quanto o de metais tóxicos.

Conforme destacado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 1999), esses sistemas oferecem múltiplas vantagens: permitem a equalização, o esclarecimento primário e a clarificação secundária dentro de um único vaso reacional, o que simplifica a infraestrutura necessária. Outro ponto positivo é o custo de capital relativamente baixo, tornando essa tecnologia uma opção economicamente viável para muitas comunidades e empresas. A eficiência e a versatilidade dos reatores em batelada os tornam uma solução promissora para os desafios contemporâneos do tratamento de água.

De forma similar à intenção deste estudo, autores como Molaei *et al.* (2022), Svobodová *et al.* (2016) e Al-Ansari *et al.* (2022) também desenvolveram metodologias que utilizam agentes biológicos para remoção de contaminantes a partir da aplicação de sistemas de biorreatores. Em seu estudo, Molaei *et al.* (2022) empregou um reator inoculado com bactérias produtoras de biossurfactantes *in situ* para a biodegradação de águas residuais de petróleo. Conduzindo os experimentos tanto em lote como em leito fixo, a pesquisa atingiu níveis de redução dos hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) e demanda química de oxigênio (DQO) em 99% e 96%, respectivamente.

Por sua vez, Svobodová *et al.* (2016) investigaram interações mútuas entre *Pleurotus ostreatus* e bactérias isoladas de lodo ativado para a descoloração de efluente líquido simulado contaminado com corante Remazol Brilliant Blue R (RBBR). A partir de testes em reatores de batelada, os autores observaram

descolorações de 95% empregando co-culturas e 77, 1% na aplicação de culturas puras de *P. ostreatus*. Al-Ansari *et al.* (2022) aplicaram a bactéria *Enterobacter aerogenes*, isolada de efluente têxtil, na remoção de corantes azo a partir de biorreator em batelada. Os autores obtiveram resultados promissores para a descoloração eficiente de três corantes azo, sendo eles laranja ácido 7, alaranjado de metila e vermelho congo, com 82%, 78% e 81% de reduções, respectivamente. Estes achados substanciam a ideia do uso de agentes biológicos como principais mecanismos de biodegradação de diversa gama de contaminantes, além de ressaltar a busca pela aplicação de sistemas escaláveis de tratamento de águas residuais, em especial sistemas em lote, como o aplicado neste estudo.

Ademais, *Pleurotus ostreatus* tem continuamente demonstrado eficiência na remoção de metais tóxicos tanto de ambientes líquidos quanto em solos contaminados. Autores reportaram o desempenho promissor desta espécie na remoção de concentrações de elementos potencialmente tóxicos como Pb, Cu, Cr e Hg, em diferentes condições, tais como Javaid *et al.* (2011), Yang *et al.* (2017), Wang *et al.* (2019) e Aguilar *et al.* (2021). Entretanto, esses estudos tiveram suas análises conduzidas a partir da avaliação dos metais separadamente.

Em contrapartida, corroborando com a metodologia multimetálica aplicada neste estudo, ou seja, com todos os metais interagindo e competindo entre si em solução, Vaseem *et al.* (2020) obtiveram a máxima eficiência de remoção de Mn (85%), Ni (100%), Zn (99%), Cu (100%), Pb (68%), Co (100%) e Cr (100%) ao aplicar *P. ostreatus* em tratamentos com 25% de efluente proveniente da lavagem de carvão. Stanley *et al.* (2017) também realizaram análise multimetálica a partir de efluente de refinaria com a mesma espécie fúngica, obtendo eficiência de bioadsorção para Fe (80%), Zn (99%), Pb (94%), Ni (99%), Cr (93%) e Cd (96%), respectivamente. Isso indica que a espécie fúngica demonstra potencial para aplicação em diferentes condições e, ainda assim, ter resultados satisfatórios na redução de concentrações de diferentes metais tóxicos em simultâneo.

Considerações Finais

Diante dos resultados obtidos foi possível verificar que o isolado de *Pleurotus ostreatus* foi capaz de reduzir os valores de turbidez, e os metais avaliados neste

estudo, demonstrando assim o seu potencial biorremediador em amostras de água do Rio Doce. Os métodos usualmente empregados em sistema de saneamento básico não preveem a remoção de metais tóxicos em suas etapas convencionais. Além disso, as técnicas existentes para a remoção desses elementos possuem, geralmente, elevados custos associados. Sendo assim, a técnica preconizada neste estudo indica a possibilidade de utilização de um método simples, de fácil operação e com baixos valores agregados quando comparado a outras técnicas atualmente conhecidas.

Neste sentido, a elaboração do protótipo para a descontaminação de águas do Rio Doce traz uma perspectiva para aplicação em casos gerais, como base para o tratamento de águas contaminadas a partir da utilização de um agente biológico.

Referências

ABNT. *NBR 12216: projetos de estação de tratamento de água para abastecimento público*. Rio de Janeiro, p. 18 p. 1992.

AGUILAR, M. L. A. V. *et al.* Biosorption and tolerance of Pb, Cr and Cd by the biomass of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm. *Revista Mexicana Ciências Agrícolas*, v. 12, n. 2, p. 275-289, 2021.

AL-ANSARI, M. M. *et al.* Decolourization of azo dye using a batch bioreactor by an indigenous bacterium *Enterobacter aerogenes* ES014 from the waste water dye effluent and toxicity analysis. *Environmental Research*, v. 205, 2022.

ALMEIDA, A. C. S. Desenvolvimento de protótipos de microaspersores através de prototipagem rápida e torneamento mecânico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, p. p.686–691, 2010. ISSN 7.

AYILARA, M. S.; BABALOLA, O. O. Bioremediation of environmental wastes: the role of microorganisms. *Frontiers in Agronomy*, v. 5, 2023.

BALA, S. *et al.* Recent Strategies for Bioremediation of Emerging Pollutants: A Review for a Green and Sustainable Environment. *Toxics*, v. 10, n. 8, 2022.

BALAN, S. L.; MONTEIRO. Decolorization of textile índigo dye by ligninolytic fungi. *Journal of Biotechnology, Americana*, v. 89, p. 141–145, 2001.

BRASIL. *Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007*. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 03 de agosto de 2024.

BRESSA, G.; CIMA, L.; COSTA, P. Bioaccumulation of Hg in the mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Ecotoxicological Environmental Safety*, v. 16, p. 85-89, 1998.

CETESB, *Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas.* Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/publicacoes/guia-nacional-coleta-2012.pdf>. Acesso em: 02 de agosto de 2024.

DHAWALE, S. S.; LANE, A. C.; DHAWALE, S. W. Effects os Mercury on the White Rot Fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Environmetal Contamination and Toxicology*. New York, 1996.

DIAS, C. A. *et al.* Impactos do rompimento da barragem de Mariana na qualidade da água do rio Doce. *Revista Espinhaço*, v. 7, n. 1, p. 21-35, 2018.

FAVERO, N.; BRESSA, G.; COSTA, P. Response of *Pleurotus ostreatus* to cadmium exposure. *Ecotoxicological Environmental Safety*, v. 20, p. 1-6, 1990.

FELIPPE, Miguel Fernandes *et al.* A Tragédia Do Rio Doce: A Lama, O Povo e a Água. Relatório de Campo e Interpretações Preliminares Sobre as Consequências do Rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão (Samarco/Vale/Bhp). *Revista Geografias*, p. 63-94, 2016.

GAYLARDE, C. C., BELLISANO, M. L., MANFIO, G. P. Biorremediação: aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. *Biotechnology Ciência e Desenvolvimento* 34: 36-43. 2005.

IBRAHIM, A. E.; SALEM, H. A.; ABDELHALIM, A. Environmental implications of three *Pleurotus* isolate growth for water remediation in the perspective of climate change in New Egyptian Delta. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 31, p. 22588-22603, 2024.

IGAM. *Relatório técnico: acompanhamento da Qualidade das Águas do Rio Doce Após o Rompimento da Barragem da Samarco no distrito de Bento Rodrigues – Mariana/MG.* Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), 2016.

INNES, C. *Pleurotus* spp. as Agents of Mycoremediation: A Review. University Honors Theses, 2023.

JACOBI, Pedro Roberto; CIBIM, Juliana. A Necessária Compreensão Das Consequências Ampliadas De Um Desastre. *Ambiente e Sociedade*, São Paulo, v.18, n.4, Dec. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2015000400001&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 03 agosto de 2024.

JAVAID, A. *et al.* Removal of heavy metals by adsorption on *Pleurotus ostreatus*. *Biomass and Bioenergy*, v. 35, n. 5, p. 1675-1682, 2011.

KAMIDA, H. M.; DURRANT, L. R.; MONTEIRO, R. T. R.; ARMAS, E. D. Biodegradação de efluente têxtil por *Pleurotus sajor-caju*. *Química Nova*, v. 28, n.24, p. 629-632, fev. 2005.

KAPAH, M.; SACHDEVA, S. Mycoremediation potential of *Pleurotus* species for heavy metals: a review. *Bioresources and Bioprocessing*, v. 4, n. 32, 2017.

LIMA, J. G. *et al.* Biorremediação de águas contaminadas por derivados de petróleo com o uso de plantas. *Bolsista de Valor*, v. 4, 2015.

McFARLAND, M. J.; QIU, X. J. Removal of benzo(a)pyrene in soil compositing systems amended with the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Journal of Hazardous Materials*, v. 42, p. 61-70, 1995.

MIETTI, M. A.; VENDRAMETO, O. *Uso da prototipagem rápida como fator de competitividade*. São Paulo: APEBRO, 2000.

MOLAEI, S. *et al.* Biodegradation of the petroleum hydrocarbons using an anoxic packed-bed biofilm reactor with in-situ biosurfactant-producing bacteria. *Journal of Hazardous Materials*, v. 421, 2022.

PMI. Project Management Institute. In: Institute., P. M. *The Guide to Project Management Body of Knowledge. PMBOK® Guide*. 5ª. ed. [S.l.]: [s.n.], 2015.

RIBEIRO, K. G. *et al.* Desastre de Mariana-MG: os impactos provocados pelo rompimento da barragem da Samarco aos pescadores da bacia do Rio Doce. *Estudos de Administração e Sociedade*, v. 8, n. 1, p. 42-54, 2023.

SANTOS, J. R. D. P. *Potencial de degradação de resíduos por Pleurotus ssp.* Piracicaba, 10 jul. 2014.

SANTOS, M. P. O.; SANTOS, M. V. N.; BOMFETI, C. A. *Análise da eficiência do fungo Pleurotus ostreatus na redução das concentrações de metais tóxicos e do parâmetro turbidez nas águas contaminadas do rio Doce*. II Semana Da Engenharia Do Campus Do Mucuri – UFVJM, 2019.

SANTOS, M. P. O. *et al.* *Pleurotus* strains with remediation potential to remove toxic metals from Doce River contaminated by Samarco dam mine. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 19, n. 2, 2021.

SILVA FILHO, N. V. *Impactos do rompimento da barragem de mariana para a população da cidade de Governador Valadares-MG*. 2022. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

STANLEY, H. O.; IHENNACHO, C. M.; STANLEY, C. N. Bioremoval of Heavy Metals from Effluent of Port Harcourt Refinery Using *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Petroleum & J Environmental Biotechnology*, v. 8, n. 2, 2017.

SVOBODOVÁ, K. *et al.* Mutual interactions of *Pleurotus ostreatus* with bacteria of activated sludge in solid-bed bioreactors. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 32, n. 6, 2016.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. *Microbiologia*. 10. ed. [S.l.]: Artmed, v. 1, 2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - U.S.EPA. *Wastewater technology fact sheet sequencing batch reactors*. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/>>. Acesso em 20 de agosto de 2024.

VASEEM, H. *et al.* An ecofriendly approach to decontaminate toxic metals from coal washery effluent using the mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Discover Applied Sciences*, v. 2, 2020.

WANCURA, G. C. *et al.* Application of mushrooms as a pollutant remediator. *Brazilian Applied Science Review*, v. 8, n. 1, p. 225-249, 2024.

WANG, Y. *et al.* Removal and tolerance mechanism of Pb by a filamentous fungus: A case study. *Chemosphere*, v. 225, p. 200-208, 2019.

YANG, S. *et al.* Removal of heavy metals by adsorption on *Pleurotus ostreatus* HAAS. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 228, n. 130, 2017.

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524

ISSN: 2238-6424