

TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS PARA RECUPERAÇÃO DE ECOSISTEMAS LITORÂNEOS IMPACTADOS PELO DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO NO NORDESTE BRASILEIRO**SUSTAINABLE TECHNOLOGIES FOR THE RECOVERY OF COASTAL ECOSYSTEMS IMPACTED BY OIL SPILLS IN NORTHEASTERN BRAZIL** <https://doi.org/10.63330/aurumpub.012-004>**João Vitor da Silva Chagas**

Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais
Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP, Recife-Pe, Brasil.

E-mail: vtorchagas@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8358-9821>

Rayanne Nascimento Rocha Barbosa

Graduada em Ciências Biológicas
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP, Recife-Pe, Brasil.

E-mail: raysimoes18@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1742-0875>

Elannie Salvina Costa da Silva

Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais
Universidade Católica de Pernambuco -UNICAP, Recife-Pe, Brasil.

E-mail: elannie.salvina@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8518-9350>

Leidson Ramos de Sousa

Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP, Recife-Pe, Brasil.

E-mail: leidson_ramos@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5431-578X>

Itamar Victor de Lima Costa

Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais
Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP, Recife-Pe, Brasil.

E-mail: itamarvictor23@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0653-5992>

RESUMO

Este capítulo de livro busca por meio de uma revisão bibliográfica abrangente, evidenciar as pesquisas mais recentes na área de biorremediação dos impactos gerados pelo derramamento de óleo com utilização de novas tecnologias. O principal intuito é voltado aos progressos recentes na recuperação de zonas litorâneas, no tratamento dos ecossistemas, e na utilização de alternativas sustentáveis. Busco apresentar e discutir alguns dos argumentos, sobreposições, contraposições e lacunas que fizeram parte do debate em torno da preservação de ambientes costeiros no Brasil. São debatidos diversos tipos de alternativas, suas vantagens e desvantagens. Como biorremediação, adsorção, bioventilação, entre outros. Conclui-se que, são mencionados os desafios atuais, as perspectivas futuras e por meio de tecnologias inovadoras, é possível

Contribuições Multidisciplinares Para o Conhecimento Atual



explorar e melhorar cada vez mais as capacidades dos fungos na remediação de águas residuais, em ambiente costeiro.

Palavras-chave: Remediação; Bioengenharia; Costeira.

ABSTRACT

This book chapter aims, through a comprehensive literature review, to highlight the most recent research in the field of bioremediation of impacts caused by oil spills using new technologies. The main focus is on recent advances in the recovery of coastal zones, ecosystem treatment, and the use of sustainable alternatives. The chapter seeks to present and discuss some of the arguments, overlaps, contradictions, and gaps that have been part of the debate surrounding the preservation of coastal environments in Brazil. Various types of alternatives are discussed, along with their advantages and disadvantages, such as bioremediation, adsorption, bioventing, among others. It is concluded that current challenges and future perspectives are addressed, and through innovative technologies, it is increasingly possible to explore and enhance the capabilities of fungi in the remediation of wastewater in coastal environments.

Keywords: Remediation; Bioengineering; Coastal.



1 INTRODUÇÃO

Ao considerar que, o cenário do petróleo brasileiro sofreu mudanças significativas na última década. A produção média do petróleo saiu de 41 mil barris de petróleo por dia, para 2,94 milhões, registrados até o ano de 2020 (ANP, 2021). No contexto atual, os impactos ambientais ocasionados pelo petróleo preocupam quanto a preservação de ambientes costeiros, especialmente gerados por acidentes que provocam contaminação ambiental imediata e gradual, em grande escala, gerando consequências desastrosas para o ecossistema atingido. Sabe-se que 0,08%-0,4% da produção mundial de petróleo alcancem, eventualmente, os oceanos. No litoral do Nordeste, acidentes envolvendo petróleo e derivados tais como gasolina e óleo combustível, são destaque nas problemáticas ambientais (Vogel; Beltrame, 2022).

O petróleo é formado por compostos aromáticos diversos, além dos hidrocarbonetos saturados e dos componentes orgânicos nitrogenados sulfonados e oxigenados. Quanto maior o número de cadeias de anéis aromáticos, mais tóxico o petróleo será. (Souza *et al.*, 2024).

Com a ampliação da demanda por investimentos de infraestrutura pelo setor petrolífero, geram impactos ambientais devido ao aumento do risco tecnológico, pela operação e transporte de produtos altamente poluentes. Surge a necessidade de que sejam desenvolvidos estudos para que haja diminuição dos prejuízos causados ao ecossistema litorâneo (Marques, 2022).

Após um derramamento, o impacto gerado é de difícil recuperação, tornando necessário aplicar técnicas remediadoras para limpar o ambiente afetado. Atualmente são aplicadas técnicas diversas utilizando processos mecânicos, físicos, químicos ou biológicos para degradar o óleo de forma rápida. Entretanto, o uso de muitas dessas técnicas pode gerar problemas ainda maiores para o meio ambiente, como, por exemplo, a emissão de gases poluentes liberados pela queima *in situ* e aumento do risco à vida marinha causado pela toxicidade dos dispersantes químicos (Domingos *et al.*, 2020).

Em 2019, ocorreu o maior desastre, foi o derramamento que atingiu as praias do município do Cabo de Santo Agostinho, tendo um impacto ainda maior para as comunidades de baixa renda que vivem da pesca e turismo local, causado por vazamento em um navio petroleiro (Silva, 2022).

As principais medidas a tomar em resposta a um derrame de petróleo são reduzir o impacto na vida marinha, evitar que o petróleo chegue à costa através da sua recuperação e acelerar a degradação do petróleo não recuperado. Este capítulo de livro busca por meio de um resumo abrangente evidenciar as tecnologias mais recentes para remediação dos impactos causados pelo petróleo, em áreas litorâneas, com a utilização de alternativas sustentáveis (Lacerda *et al.*, 2021).

2 METODOLOGIA

Sabe-se que a revisão da literatura geralmente é a revisão das pesquisas e das discussões de outros autores sobre o tema da pesquisa. Logo, é a contribuição das teorias das fontes de pesquisa. É na revisão



da literatura que se deve apresentar um levantamento das bibliografias sobre o tema do trabalho, a partir de um objetivo específico e com a finalidade de responder ao problema de pesquisa (De Sousa; De Oliveira; Alves, 2021).

Busca-se apresentar e discutir alguns dos argumentos, sobreposições, contraposições e lacunas que fizeram parte do debate em torno da preservação de ambientes costeiros, especialmente quanto à presença de hidrocarbonetos petrolíferos em efluentes no Brasil. Dentre todos os artigos apresentados pelos motores de busca e pela técnica de bibliografia reticulada, foram selecionados, em bases de dados como SciELO e Google Acadêmico, apenas aqueles publicados entre 2019 e 2023, que abordavam diretamente o uso de fungos filamentosos para a biorremediação de hidrocarbonetos petrolíferos em efluentes.

2.1 ORGANIZAÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DA PESQUISA

Para organizar as informações apresentadas pelos quase 30 textos que obedeceram aos critérios de seleção, foi elaborada uma tabela. A edição foi realizada no programa Microsoft Word e teve como objetivo apresentar as finalidades das pesquisas voltadas à mitigação dos impactos ocasionados pela presença de hidrocarbonetos petrolíferos em áreas portuárias e retroportuárias, bem como a forma como essas questões são abordadas em cada um dos artigos.

Dessa forma, cada texto contou com seu respectivo “quadro de sistematização”, no qual linhas e colunas destacavam os objetivos centrais do documento, relacionados a essas temáticas. Ressalta-se que o processo de análise foi iniciado por meio de pesquisas no Google Acadêmico. Assim, as temáticas que compuseram a tabela de sistematização não foram previamente definidas, mas construídas a partir da leitura inicial dos materiais. Observe o quadro 1:



Quadro 1 – Trabalhos e objetivos

TÍTULO	ANO	AUTORES	OBJETIVOS
1. Análise da eficiência dos sorventes naturais lignocelulósicos na remediação de petróleo derramado em águas marinhas utilizando fibra de sisal.	2021	Cardoso <i>et al.</i>	Realizar um estudo envolvendo testes realizados em laboratório a fim de verificar a eficiência da fibra de sisal in natura na sorção do petróleo da Bacia de Campos.
2. Biossurfactantes: potenciais agentes biorremediadores.	2019	Dos Santos	Avaliar as patentes que utilizam biossurfactante no processo de remediação microbiana de ambientes contaminados, para identificar os principais tipos de biossurfactantes, os microrganismos produtores e as formas de tratamento.
3. Processos enzimáticos na biorremediação e fitorremediação de petróleo em sedimentos de manguezal: uma revisão.	2021	Lacerda <i>et al.</i>	Reunir e avaliar os processos enzimáticos na fitorremediação e fitorremediação em ambientes impactados por atividades do petróleo.
4. Fungos Filamentosos Isolados do Rio Atibaia, Sp e Refinaria de Petróleo Biodegradadores de Compostos Fenólicos.	2021	Conceição <i>et al.</i>	Futuros biotratamentos de contaminantes.
5. Análise da Eletroflotação no Tratamento da Água Produzida da Indústria Petrolífera	2021	Limeira, de Oliveira	Avaliar a eficiência da eletroflotação no tratamento da água produzida por meio de testes em batelada, onde foi realizada a caracterização da AP obtida do Campo de Carmópolis por parâmetros pH, turbidez e condutividade.
6. Caracterização e Utilização das Cascas de Banana-Comprida (Musa X Padisiaca) para Biossorção de Petróleo Presente na Água.	2020	Da Mata <i>et al.</i>	Realizar o tratamento da água contaminada por petróleo, metais pesados e compostos orgânicos, utilizando a casca de banana-comprida (musa x paradisica) como bioadsorvente sustentável, visto que é um tipo de biomassa que é descartada após o consumo da fruta e é abundante no estado, principalmente na cidade de Porto Calvo.
7. Estudo do processo de biorremediação em solos impactados por derramamento de petróleo.	2021	Da Silva Santos <i>et al.</i>	Reforçar as formas de biorremediação aplicadas ao derramamento de petróleo em larga escala, assim como evidenciar os seus aspectos positivos quando comparados com outros tipos de remediação presentes para os contaminantes petrolíferos.

Fonte: Os Autores, 2025.

Contribuições Multidisciplinares Para o Conhecimento Atual



3 DISCUSSÃO

3.1 BIODEGRADABILIDADE E EFICIÊNCIA DA FIBRA DE SISAL NA BIORREMEDIAÇÃO DE DERRAMAMENTOS DE PETRÓLEO

Como reitera Cardoso *et al.* (2021) no primeiro artigo, a utilização dos adsorventes naturais está atribuída a fatores ambientais e econômicos uma vez que as fibras estão dispostas na natureza, possuindo fonte renovável, além de serem biodegradáveis possuindo um fácil descarte. A maioria dos adsorventes naturais são resíduos de produtos agrícolas e a sua utilização gera uma redução da poluição além de reduzir também os gastos com a taxa de descarte gerando, assim, uma maior economia (Cardoso *et al.*, 2021).

É explicitado que, os adsorventes naturais possuem a capacidade de reter o petróleo principalmente a partir da transferência de massa denominada adsorção. Este fenômeno ocorre através da migração das espécies conhecidas como adsorvado, para a superfície do sólido poroso que equivale ao adsorvente. A força motriz é a diferença de concentração entre essas espécies que podem ser adsorvidas através de um processo químico (quimiossorção) ou físico (fisiossorção) (Cardoso *et al.*, 2021).

Logo, a fibra de sisal (*Agave sisalana*) é um material que apresenta alta produção no Nordeste brasileiro, devido ao clima favorável ao plantio. Trata-se de uma fibra lignocelulósica com composição química majoritária de lignina, hemicelulose e celulose, além de outras frações de compostos como ceras e extrativos (Cardoso *et al.*, 2021).

O interesse no uso desta fibra na remediação de ambientes impactados por petróleo, pode ser atribuído a sua fonte renovável, a sua biodegradação e por apresentar características hidrofóbicas bem como oleofílicas. Este material apresenta, ainda, uma porosidade responsável pela adsorção do petróleo na água do mar, se solidificando como um produto com grande potencial de aplicação na biorremediação, além de ter uma máxima eficiência na recuperação do meio ambiente impactado por atividades portuárias e zonas litorâneas (Cardoso *et al.*, 2021).

Antes de discutir o próximo trabalho escolhido é importante evidenciar que, Os resultados de sorção quanto ao tempo de contato, propõe a necessidade de um tempo mínimo de 5 minutos para aplicabilidade da técnica remediadora, configurando outra vantagem no uso do adsorvente. A reciclagem da fibra de sisal após cinco reutilizações, obteve resultados promissores, em virtude do declínio de apenas 12% da primeira sorção. Esses resultados sugerem a aplicabilidade da fibra como uma potencial ferramenta de remediação de áreas impactadas, após eventuais derramamentos offshore (Cardoso *et al.*, 2021).

3.2 APLICAÇÕES DE BIOSURFACTANTES NA BIORREMEDIAÇÃO

É visto no artigo 2 que, o fungo filamentososo *Pseudomonas aeruginosa* atualmente é amplamente utilizado como agente biorremediador de compostos orgânicos e de metais pesados, sabe-se que o principal intuito da pesquisa foi avaliar as patentes que utilizam biossurfactantes no processo de remediação



microbiana de ambientes contaminados, para identificar os principais tipos de biossurfactante, os microrganismos produtores e as formas de tratamento (Dos Santos, 2019).

Assim, o artigo é mais prático e quantitativo, em relação à produção de biossurfactantes microbianos, e suas respectivas patentes. Cita que, a pesquisa realizada na base de dados de patentes do Questel Orbit, nos últimos 20 anos, resultou em 70 patentes, com o uso do radical “biosurfatant” e os códigos B09C1/10 e C02F3/34 da CIP. Essa combinação de palavra-chave e códigos apresentou uma aderência de 43%, segundo Questel Orbit. Após a mineralização dos dados, foram selecionados 67 documentos (Dos Santos, 2019).

Conclui-se que, esse artigo também indica que há um cenário estratégico para o desenvolvimento de processos de biorremediação microbiana para recuperação de áreas impactadas pela indústria portuária, considerando o baixo número de depósitos de patente, os riscos cada vez mais frequentes de incidentes ambientais em todo o mundo, provenientes da atividade mineradora e de contaminação de ecossistemas ao até biomas costeiros com petróleo, principalmente no Brasil, após vários registros de tragédias ambientais (Dos Santos, 2019).

3.3 USO DE ENZIMAS NA BIORREMEDIAÇÃO

O terceiro estudo é uma revisão bibliográfica, sobre as pesquisas que adotaram a biorremediação e fitorremediação como alternativas potencialmente eficazes para efluentes e sedimentos contaminados e o uso de enzimas têm sido adotado como uma estratégia além do uso de plantas e microrganismos na biorremediação. Nele é relatado por meio de diversos estados, que essas enzimas foram relatadas, pela sua alta aplicabilidade na remoção de xenobióticos, mas esses em sua maioria são ensaios laboratoriais que ignoram a influência da dinâmica biogeoquímica. Além da aplicação direta das enzimas existem outros fatores associados à sua produção e identificação (Lacerda *et al.*, 2021).

Considerando que uma série de microrganismos e enzimas ainda estão sendo descobertos, principalmente microrganismos de regiões contaminadas, que já estarão adaptados ao contaminante e conseqüentemente produzirá uma resposta mais rápida, o que poderia gerar alterações no estudo (Lacerda *et al.*, 2021).

Apesar de existirem um bom número de pesquisas que relatem o uso da rizorremediação (biorremediação com raízes) na biodegradação de petróleo, ainda existe uma carência de pesquisas que avaliem uma relação entre os processos enzimáticos com os mecanismos da fitorremediação, geralmente pesquisas que envolvem o uso de espécies endêmicas de manguezais. Além da carência de estudos relacionados à aplicação in-situ das enzimas, são poucos os estudos relacionados à aplicação em regiões estuarinas, que são regiões ricas em matéria orgânica e com alta salinidade (Lacerda *et al.*, 2021).



Há uma série de lacunas relacionadas ao uso de enzimas na biorremediação, mas o seu uso já é considerado uma tecnologia emergente e de fácil aplicação e que tem demonstrado bons resultados na biodegradação de diversos xenobióticos, principalmente os compostos do petróleo (Lacerda *et al.*, 2021).

Vale ressaltar que, os manguezais são essenciais para a manutenção da vida marinha e terrestre, além de abrigar uma avifauna que utiliza o manguezal como área de alimentação, reprodução, desenvolvimento e refúgio. O avanço industrial é de alta periculosidade para manutenção de outros biomas, por causa do ciclo reprodutivo para renovação das espécies que ocorre no manguezal (Lacerda *et al.*, 2021).

Sendo assim, para futuros ensaios e trabalhos científicos, sugere-se considerar e mensurar quão influente a dinâmica biogeoquímica afeta os sistemas associativos planta microrganismos que estarão adaptados ao ambiente contaminado e a velocidade das enzimas secretadas. Recomenda-se também avaliar os processos enzimáticos que ocorrem nos mecanismos de fitorremediação de espécies endêmicas de manguezais (Lacerda *et al.*, 2021).

Como reitera a autoria deste quarto trabalho, os fungos selecionados demonstraram potencial importante para serem introduzidos em processos de biorremediação de petróleo e metais pesados, com perspectivas de resultados promissores para tratamentos de resíduos e efluentes fenólicos, reforçando a idéia que numerosas espécies com potencial para degradar e/ou reciclar compostos tóxicos, podem ser isoladas de ambientes alterados pela poluição. Sabe-se que, os compostos fenólicos enquadram-se nos resíduos resultantes da biodegradação de resíduos naturais e da atividade antrópica; são encontrados no solo e na água, mas apesar de amplamente distribuídos na natureza fazem parte dos principais poluentes tóxicos (Conceição *et al.*, 2021).

3.4 ENGENHARIA GENÉTICA NA BIORREMEDIAÇÃO

Quanto aos aspectos biotecnológicos, estes ambientes fornecem amplo acervo genético, ampliando as possibilidades da engenharia genética, que tem necessidade constante de novos microrganismos com características especiais, para a manipulação e aplicação no melhoramento de processos (Conceição *et al.*, 2021).

Os fungos selecionados estão estocados no Departamento de Bioquímica e Microbiologia do Instituto de Biociências de Rio Claro, UNESP, no estado de São Paulo, em processo de identificação, para serem depositados em coleções certificadas, após os ensaios de campo, era esperado que os resultados fossem satisfatórios, porém houveram parâmetros surpreendentes, o que comprova a necessidade de fomento para que haja mais pesquisas na área e ampla divulgação (Conceição *et al.*, 2021).



3.5 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PETROLÍFEROS

O quinto trabalho selecionado, trata-se de avaliar a eficiência da eletroflotação no tratamento da água produzida por meio de testes em batelada, onde foi realizada a caracterização da AP obtida do Campo de Carmópolis por parâmetros pH, turbidez e condutividade (Limeira; de Oliveira, 2021).

Antes de tudo é necessário saber que, na indústria do petróleo, durante os processos de exploração e produção, é gerada uma grande quantidade de água residual denominada Água Produzida (AP), nome que a água recebe quando chega à superfície ao sair do reservatório de petróleo. A água produzida é uma mistura altamente complexa de compostos químicos, tais como hidrocarbonetos, metais pesados, aditivos, inibidores, entre outras substâncias químicas (Limeira; de Oliveira, 2021).

Quando se trata do tratamento de efluentes gerados pela atividade petrolífera podem ser utilizados processos físicos, químicos, físico-químicos e biológicos, tais como o uso de separadores água-óleo, coagulação-floculação, lagoas de ativação, lodo ativado, filtros biológicos, processos oxidativos avançados e tecnologia eletrolítica. Pode-se considerar que o tratamento de efluentes utilizando a eletroflotação é antigo, porém interessante, devido à tecnologia ser de fácil operação e ter diversas aplicações (Limeira; de Oliveira, 2021).

Com isso, o estudo feito demonstrou a aplicabilidade da eletroflotação é induzida pelo uso de um reator, que nada mais é do que uma célula eletrolítica, com um cátodo e um ânodo, que faz uma corrente elétrica percorrer o efluente o tratamento sustentável da água produzida. De acordo com os resultados obtidos nos ensaios, nota-se que os eletrodos de alumínio se mostraram superiores aos de ferro na remoção de óleo da água. Isso se deve ao fato do eletrodo de ferro apresentar a desvantagem de o efluente ficar com uma cor residual verde ou amarela bastante forte (Limeira; de Oliveira, 2021).

Na eficiência de remoção da turbidez, o resultado obtido pelo eletrodo de alumínio mostrou uma remoção de aproximadamente 88%, melhorando o parâmetro analisado, o que correspondeu a 40% a mais de eficiência quando comparado ao eletrodo de ferro. No aspecto do parâmetro pH, ambos os eletrodos tiveram uma eficiência semelhante, foi possível observar na prática, os conceitos e resultados vistos na literatura, sendo um dos aspectos que pode servir de vantagem para o tratamento por eletroflotação se deve ao fato de não necessitar de produtos químicos, nem antes nem após o tratamento (Limeira; de Oliveira, 2021).

3.6 USO SUSTENTÁVEL DA CASCA DE BANANA-COMPRIDA NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

O sexto trabalho selecionado pretende realizar o tratamento da água contaminada por petróleo, metais pesados e compostos orgânicos, utilizando a casca de banana-comprida (musa x paradisiaca) como



bioadsorvente sustentável, visto que é um tipo de biomassa que é descartada após o consumo da fruta e é abundante no estado, principalmente na cidade de Porto Calvo (Da Mata *et al.*, 2020).

Pois a água produzida a partir do petróleo é uma substância contaminada por compostos orgânicos, petróleo e metais pesados, por isso é necessário realizar o tratamento para que seja descartada corretamente no ambiente ou até reutilizada no processo de injeção através de poços de injeção para aumentar a pressão do sistema de óleo, que é o principal intuito deste presente estudo (Da Mat *et al.*, 2020).

De acordo com os autores, conclui-se que um dos meios mais utilizados pela indústria do petróleo é o processo de adsorção usando carvão, no entanto, é um processo considerado caro e não sustentável. Assim, meios mais baratos e mais eficazes devem ser pesquisados para tornar o processo de tratamento da água produzido mais barato e sustentável. A biossorção é um método inovador semelhante ao carvão mineral, no entanto, utiliza biomassa para adsorver contaminantes (Da Mata *et al.*, 2020).

Na indústria do petróleo a água produzida é tratada, utilizando carvão mineral. Este processo é de alto custo e pouco sustentável, logo, torna-se necessário pesquisar meios mais baratos e sustentáveis. Um processo que vem ganhando relevância no mercado é o tratamento de efluentes usando biomassa. Nesse processo, a biomassa faz o papel do carvão mineral e atua como bioadsorvente (Da Mata *et al.*, 2020).

Importante salientar, a biomassa foi tratada, utilizando água corrente, água destilada e luz solar para ser triturada. A granulometria obtida com o auxílio da peneira vibratória obtida foi: 75 µm; 150 µm; 300 µm; 425 µm; 600 µm; 1,18 mm; 2,36 mm; 4,75; e 6,3 mm. O teor de umidade da biomassa encontrado na faixa de 0,35% a 0,55% (Da Mata *et al.*, 2020).

3.7 BIORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS

Por fim, mas não menos importante, o último trabalho traz as formas de biorremediação aplicadas ao derramamento de petróleo em larga escala, assim como evidenciar os seus aspectos positivos quando comparados com outros tipos de remediação presentes para os contaminantes petrolíferos (Da Silva Santos *et al.*, 2021).

Existem diversos tipos de biorremediação e cada técnica é aplicada a depender da necessidade do problema, o tipo de contaminante e o solo impactado. O sucesso da biorremediação independe da aplicação da técnica (“in situ” ou em “ex situ”), mas requer controle do processo. A decisão a favor de uma das medidas depende principalmente das condições econômicas e técnicas e do tempo disponível (Da Silva Santos *et al.*, 2021).

O primeiro a ser apresentado é a bioventilação, baseia-se na adição de oxigênio no solo impactado para aumentar ou estimular o crescimento microbiano natural ou introduzido. É eficiente no tratamento de qualquer contaminante degradável em meio aeróbico, particularmente é muito efetiva na remediação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo, é utilizada principalmente para tratar biodegradação



aeróbia de contaminantes, sendo mais recomendada para locais onde ocorreu a liberação de compostos com peso molecular médio, como o diesel (Da Silva Santos *et al.*, 2021).

Logo, apresenta-se a fitorremediação é uma técnica que utiliza as capacidades de absorção de plantas para a retirada de contaminantes do solo e das águas subterrâneas. O contaminante pode ser assimilado à estrutura da planta e ali concentrado, que depois é removido do local. É de baixo custo de implantação e manutenção, que a torna uma solução com muita potencialidade para contaminantes que se estendem por grandes áreas ou onde haja limitados recursos financeiros. Um ponto negativo desse método é que se deve levar em consideração o ciclo vital da planta escolhida, como também a dificuldade de selecionar a planta adequada ao tipo de solo que contém muitos contaminantes diferentes (Da Silva Santos *et al.*, 2021).

O trabalho traz diversos outros tipos de biorremediação, mas foram selecionados os dois mais utilizados. O processo de biorremediação destaca-se como mais efetivo quando comparado aos outros métodos de remediação, visto que após aplicado, os subprodutos gerados não necessitam de tratamento específico, o que não gera mais impactos negativos ao meio ambiente (Da Silva Santos *et al.*, 2021).

4 CONCLUSÃO

Mediante a pesquisa de revisão de literatura realizada, é evidente as diversas inovações e avanços tecnológicos para aprimorar os processos de recuperação de ecossistemas litorâneos impactados pelo derramamento de petróleo no nordeste brasileiro.

A eletroflotação mostrou-se um tratamento eficaz para este tipo de efluente, tanto para remoção de turbidez como aumento do pH da AP, não existindo, entretanto, dados significativos com relação à condutividade do efluente. Quando trata-se do estudo de caso com a fibra de sisal, também é válida a boa eficiência da fibra de sisal in natura no processo de adsorção do petróleo.

A biomassa obteve êxito na bioadsorção do óleo e dos metais pesados. A banana-comprida como adsorvente é eficaz e barata, porém, com base nos resultados, é possível afirmar que os grãos com menor teor de umidade podem ser considerados os melhores bioadsorventes, pois apresentaram menor teor de umidade foram os de 75 µm e 6,3 mm. Logo, para se ter uma bioadsorção mais eficaz, os grânulos preferencialmente devem ter essa faixa de tamanho. a casca de banana longa foi utilizada para realizar a bioadsorção do óleo disperso na água do óleo que contaminou o litoral do nordeste brasileiro.

A biorremediação com fungos, obtiveram bons resultados aplicados em petróleo e metais pesados, sendo uma das alternativas que mais ganharam popularidade nos últimos anos. Principalmente com o desenvolvimento de biossurfactantes. A fitorremediação, com espécies endêmicas de manguezais, também é uma vertente que deve crescer, já que não há tantas pesquisas para criar medidas de mitigação em estuários.



Conclui-se que, são mencionados os desafios atuais, as perspectivas futuras e por meio de tecnologias inovadoras, é possível explorar e melhorar cada vez mais as capacidades da remediação de ecossistemas litorâneos, em ambientes costeiros. Para isso, é essencial o fortalecimento dos órgãos de fomento à pesquisa científica no Brasil. Assim, meios mais baratos e mais eficazes devem ser pesquisados para tornar o processo de tratamento de regiões afetadas cada vez mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

Queremos agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e a FACEPE - Fundação de Apoio e Amparo à Pesquisa de Pernambuco pela concessão das bolsas de pós-graduação e iniciação científica e ao incentivo à pesquisa.



REFERÊNCIAS

- Produção de petróleo e gás teve recorde em 2020 e aumentou 52,71% em relação a 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/producao-de-petro-leo-e-gas-teve-recorde-em-2020-e-aumentou-52-71-em-relacao-a-2010>.
- BRASILEIRO, P. P. F. et al. Estudo da estabilidade do biossurfactante produzido em biorreator para biorremediação. In: I Congresso Internacional de Ciências Biológicas, II Congresso Nacional de Ciências Biológicas e VI Simpósio de Ciências Biológicas. 2013. p. 1-13.
- CARDOSO, Rebeca da Paixão Gomes et al. Análise da eficiência dos sorventes naturais lignocelulósicos na remediação de petróleo derramado em águas marinhas utilizando fibra de sisal. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 8, p. e4110812852-e4110812852, 2021.
- CONCEIÇÃO, D. M. et al. Fungos filamentosos isolados do rio Atibaia, SP e refinaria de petróleo biodegradadores de compostos fenólicos. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 72, p. 99-106, 2021.
- DA MATA, João Emanuel Cabral et al. Caracterização e Utilização das Cascas de Banana-Comprida (*Musa X Padisiaca*) para Biossorção de Petróleo Presente na Água. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS*, v. 6, n. 2, p. 73-73, 2020.
- DA SILVA SANTOS, Amanda et al. Estudo do processo de biorremediação em solos impactados por derramamento de petróleo. *Diversitas Journal*, v. 6, n. 1, p. 823-835, 2021.
- DE SOUSA, Angélica Silva; DE OLIVEIRA, Guilherme Saramago; ALVES, Laís Hilário. A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. *Cadernos da FUCAMP*, v. 20, n. 43, 2021.
- DOMINGOS, Iaponan Soares et al. Análise da eficiência da diatomita no tratamento de fluido sintético oleoso, visando aplicação em água produzida em campos de petróleo. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 11, p. 89329-89339, 2020.
- DOS SANTOS, Sidnei Cerqueira. Biossurfactantes: potenciais agentes biorremediadores. *Cadernos de Prospecção*, v. 12, n. 5, p. 1531-1531, 2019.
- LACERDA, Eliseu Melo Carvalho *et al.* Processos enzimáticos na biorremediação e fitorremediação de petróleo em sedimentos de manguezal: uma revisão. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 11, p. e526101119944-e526101119944, 2021.
- LIMEIRA, Vanessa; DE OLIVEIRA, Edergleidson Soares. Análise da Eletroflotação no Tratamento da Água Produzida da Indústria Petrolífera. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS*, v. 7, n. 1, p. 155-155, 2021.
- MARQUES, Rafael Teixeira. Tratamento de Água Oleosa Através de Hidrociclones em uma Planta de Processamento Primário de Petróleo: Uma Revisão. *Biblioteca de Monografias*, v. 1, n. 001, 2022.
- SILVA, Ivison A. et al. Oil spills: impacts and perspectives of treatment technologies with focus on the use of green surfactants. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 194, n. 3, p. 143, 2022.



SOUZA, Thiago De Aguiar; SOTÃO-NETO, Basílio Magno Tavares; COMBI, Tatiane. Derrame de petróleo na costa do brasil (2019-2020): Caracterização e riscos associados. in: maré bruta: um panorama do derramamento de petróleo na costa do brasil em 2019-impactos e gestão do desastre na perspectiva das comunidades. Editora Científica Digital, 2024. p. 76-86.

VOGEL, Natalia; BELTRAME, Thiago Favarini. Tratamento de cátions sódio e potássio presentes em água produzida de petróleo sintética: uso de eletrodialise. *Águas Subterrâneas*, v. 36, n. 2, 2022.