



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO
CURSO DE MESTRADO ACADÊMICO

RICARDO DA SILVA ARAÚJO

**A AUSÊNCIA DE UMA POLÍTICA EXTRAFISCAL PARA O DESENVOLVIMENTO
DE BIOTECNOLOGIA APLICADA A PROCESSOS DE BIORREMEDIAÇÃO
MARINHA DE PETRODERIVADOS**

FORTALEZA – CE,
2023

RICARDO DA SILVA ARAÚJO

AAUSÊNCIA DE UMA POLÍTICA EXTRAFISCAL PARA O DESENVOLVIMENTO DE
BIOTECNOLOGIA APLICADA A PROCESSOS DE BIORREMEDIAÇÃO MARINHA
DE PETRODERIVADOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Direito da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Constituição, Sociedade e Pensamento Jurídico.

Orientador(a): Profa. Dra. Denise Lucena Cavalcante.

FORTALEZA – CE,

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

A691a Araújo, Ricardo da Silva.

A ausência de uma política extrafiscal para o desenvolvimento de biotecnologia aplicada a processos de biorremediação marinha de petroderivados / Ricardo da Silva Araújo. – 2023.

101 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Direito, Programa de Pós- Graduação em Direito, Fortaleza, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Denise Lucena Cavalcante.

1. Extrafiscalidade ambiental. 2. Biotecnologia. 3. Petroderivados. 4. Litoral marinho brasileiro. I. Título.

CDD 340

RICARDO DA SILVA ARAÚJO

A AUSÊNCIA DE UMA POLÍTICA EXTRAFISCAL PARA O DESENVOLVIMENTO DE
BIOTECNOLOGIA APLICADA A PROCESSOS DE BIORREMEDIAÇÃO MARINHA
DE PETRODERIVADOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Direito da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Constituição, Sociedade e Pensamento Jurídico.

Avaliada em: 21/11/2023.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Denise Lucena Cavalcante (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. João Luis Nogueira Matias
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rogério da Silva e Souza
Centro Universitário Fametro (UNIFAMETRO)

À minha mãe pelo exemplo de caráter,
personalidade, coragem, força e
principalmente pelo amor dedicado em
todas as horas desde o meu início.

AGRADECIMENTOS

A Deus, porque com Ele tudo é possível, nada existiria sem o seu amor, e é este amor que nos faz caminhar e confiar. Ele nos ensinou a perdoar e isto é uma dádiva que vem muito além da vontade humana.

À Profª Drª Denise Lucena Cavalcante, pela orientação, por toda ajuda, acolhimento e compreensão proporcionados durante a realização deste trabalho.

Aos professores da banca examinadora: Prof. Dr. João Luís Nogueira Matias e Prof. Dr. Rogério da Silva e Souza pela disponibilidade e críticas preciosas que contribuíram com o aprimoramento deste trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Direito da Universidade Federal do Ceará.

A todos os meus colegas da pós-graduação, em especial ao Edilson da Silva Medeiros Júnior e Rebeca Moreira de Queiroz, pela amizade e companheirismo incomparáveis durante todas as etapas deste momento, que só fizeram aumentar o meu respeito e gratidão por eles.

À Universidade Federal do Ceará pela oportunidade e apoio.

A todos, em especial a minha família e amigos, que colaboraram direta ou indiretamente com a realização deste trabalho.

A ciência é mais do que um corpo de conhecimento, é uma forma de pensar, uma forma cética de interrogar o universo, com pleno conhecimento da falibilidade humana. (Carl Sagan)

RESUMO

As diversas atividades petrolíferas desenvolvidas ao longo do litoral brasileiro têm potencial de ocasionar nocivos impactos ao meio ambiente. Destarte, uma forma de reverter seus deletérios efeitos é através da degradação de seus subprodutos através do uso da biotecnologia nos processos de remediação. Nessa toada, como uma das formas de tutelar o equilíbrio ecológico, o Estado Brasileiro, em seu Poder de Tributar, possui o objetivo de suprir recursos aos cofres públicos e proporcionar o bem comum ao povo, havendo também a possibilidade de incentivos extrafiscais capazes de promover ações e práticas ambientalmente adequadas. Dessa forma, os poderes Executivo e Legislativo podem, através da extrafiscalidade, garantir o desenvolvimento de novas biotecnologias de remediação de petroderivados, além de adaptar o Plano Nacional de Contingência à utilização de técnicas de biorremediação desses compostos. Assim, o presente trabalho teve como objetivo analisar as atuais políticas fiscais adotadas para o desenvolvimento da atividade petrolífera, comparando-as aos incentivos extrafiscais dados à produção biotecnológica de processos de biorremediação de petroderivados do litoral marinho brasileiro. E, com foco nesta problemática, o presente trabalho foi dividido em três capítulos, onde trouxe a discussão teórica relacionada à extrafiscalidade como política tributária de preservação ambiental. Bem como demonstrou as principais características dos petroderivados de interesse para este estudo e os principais processos biotecnológicos de remoção de petroderivados em ambiente marinho para, ao final, discorrer acerca das políticas extrafiscais no desenvolvimento e utilização de técnicas de biotecnologia a serem aplicadas na preservação do meio ambiente, destacando como resultado a inexistência de um instrumento extrafiscal específico voltado exclusivamente ao desenvolvimento biotecnológico para a biorremediação de petroderivados no litoral brasileiro. Para tanto, a metodologia utilizada foi do tipo revisão bibliográfica e a abordagem livre exploratória sobre a temática, em que se desenvolveu na discussão da pesquisa a extrafiscalidade e incentivos fiscais, petroderivados e seus processos biotecnológicos de remediação.

Palavras-chave: Extrafiscalidade ambiental; Biotecnologia; Petroderivados; Litoral marinho brasileiro.

ABSTRACT

The various oil activities developed along the Brazilian coast have the potential to cause harmful impacts on the environment. Therefore, one way to reverse its harmful effects is through the degradation of its byproducts through the use of biotechnology in remediation processes. In this sense, as one of the ways of protecting the ecological balance, the Brazilian State, in its Power to Tax, has the objective of supplying resources to the public coffers and providing the common good to the people, with the possibility of extra-fiscal incentives capable of promoting environmentally appropriate actions and practices. In this way, the Executive and Legislative powers can, through extra-fiscality, guarantee the development of new biotechnologies for the remediation of petroderivatives, in addition to adapting the National Contingency Plan to the use of bioremediation techniques for these compounds. Thus, the present work aimed to analyze the current fiscal policies adopted for the development of petroleum activity, comparing them to the extra-fiscal incentives given to the biotechnological production of bioremediation processes of petroleum derivatives from the Brazilian marine coast. And, focusing on this issue, the present work was divided into three chapters, which brought the theoretical discussion related to extra-fiscality as a tax policy for environmental preservation. It also demonstrated the main characteristics of the petroderivatives of interest for this study and the main biotechnological processes for removing petroderivatives in the marine environment and, in the end, discussed extrafiscal policies in the development and use of biotechnology techniques to be applied in preserving the environment. environment, highlighting as a result the lack of a specific extra-fiscal instrument aimed exclusively at biotechnological development for the bioremediation of petroderivatives on the Brazilian coast. To this end, the methodology used was a bibliographical review and a free exploratory approach to the topic, in which extra-fiscality and tax incentives, petroderivatives and their biotechnological remediation processes were developed in the research discussion.

Keywords: Environmental extrafiscality; Biotechnology; Petroderivatives; Brazilian marine coast.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADE	Ato Declaratório Executivo
CIDE	Contribuições de Intervenção no Domínio Econômico
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTN	Código Tributário Nacional
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
ICMS	Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual, Intermunicipal e de Comunicação
IE	Imposto de Exportação
II	Imposto de Importação
IN	Instrução Normativa
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPTU	Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
IPRJ	Imposto de Renda Pessoa Física
ISS	Imposto sobre Serviços
ITR	Imposto sobre Propriedade Territorial Rural
LRF	Lei de Responsabilidade Fiscal
MP	Medida Provisória
OCDE	Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico
OMC	Organização Mundial do Comércio
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PEI	Planos de Emergência Individuais
PL	Projeto de Lei
PNC	Política Nacional de Contingência
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
RFB	Receita Federal do Brasil
ZPE	Zona de Processamento de Exportação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	CAPÍTULO I – A EXTRAFISCALIDADE COMO POLÍTICA TRIBUTÁRIA DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL	15
2.1	Extrafiscalidade Ambiental	16
2.2	Extrafiscalidade como instrumento de proteção ambiental brasileira	20
2.3	Extrafiscalidade através de renúncia de receita	27
3	CAPÍTULO II – O MEIO AMBIENTE ECOLOGICAMENTE EQUILIBRADO: O PETRÓLEO, SEUS DERIVADOS E OS PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS DE REMEDIAÇÃO AMBIENTAL ..	31
3.1	O Plano Nacional de Contingência e a Política Nacional do Meio Ambiente	43
3.2	A biotecnologia nos processos de descontaminação	48
3.3	Processos bióticos de descontaminação de petroderivados em ambiente marinho	54
3.4	Processos abióticos de descontaminação de petroderivados em ambiente marinho	59
3.5	Marco legal brasileiro	64
4	CAPÍTULO III – POLÍTICAS EXTRAFISCAIS PARA DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE BIOTECNOLOGIA NOS PROCESSOS DE REMEDIAÇÃO DE PETRODERIVADOS DO AMBIENTE MARINHO BRASILEIRO	68
4.1	Os incentivos fiscais para o desenvolvimento de novos processos biotecnológicos de proteção ambiental	69
4.2	Políticas de incentivo fiscal no contexto brasileiro	72
4.3	Incentivos fiscais para a indústria petrolífera <i>versus</i> política extrafiscal para processos de biorremediação de petroderivados no litoral brasileiro	78
5	CONCLUSÃO	83
	REFERÊNCIAS	85
	GLOSSÁRIO	99

1 INTRODUÇÃO

A Constituição Federal delegou ao Estado Brasileiro o Poder de Tributar com o objetivo de suprir recursos aos cofres públicos e proporcionar o bem comum ao povo. Destarte, também permitiu que esse mesmo Estado utilizasse o sistema tributário para finalidades distintas da mera arrecadação de recursos financeiros, por intermédio da extrafiscalidade tributária.

Assim, a extrafiscalidade tributária funciona como um instrumento inibidor ou fomentador de comportamentos, lastreando-se em objetivos específicos, que possibilitam ao Estado a intervenção em determinadas áreas na busca de êxito para suas ações programáticas, sem objetivar diretamente a intenção de atrair recursos financeiros, havendo apenas o estímulo ou reprimenda a condutas específicas.

Partindo dessa premissa, deve-se sempre questionar a capacidade do sistema tributário de absorver esta demanda constitucional e prover incentivos fiscais ou a majoração da carga tributária para comportamentos ambientalmente protetivos ou nocivos, em prol da proteção ambiental, através da extrafiscalidade ambiental.

Nessa toada, faz-se imprescindível atentar que os incentivos fiscais que objetivam a preservação ambiental, têm grande potencial de incentivar o desenvolvimento de novas tecnologias capazes de remediar os principais impactos ambientais ocasionados por acidentes envolvendo petroderivados.

Desta forma, a extrafiscalidade a ser adotada como política tributária para a ampliação e uso do *know how* biotecnológico brasileiro utilizado para a biorremediação desses compostos tem um amplo espaço para expansão nos centros universitários e de pesquisa em todo o território nacional.

A justificativa e a delimitação do escopo de estudo deste trabalho se deu a partir da análise da problemática relacionada ao incentivo extrafiscal insuficiente ou mesmo ausente para o desenvolvimento de novas tecnologias a serem utilizadas nos processos de biorremediação no litoral marinho brasileiro na ocorrência de acidentes provenientes da atividade petrolífera.

Assim, o presente trabalho irá expor, através da literatura pertinente e fontes oficiais de domínio público, se de fato está sendo proporcionado o desenvolvimento de novas tecnologias que busquem atenuar os impactos negativos de contaminações por petroderivados, conforme preceitua a legislação ordinária e constitucional, ao incluir o metaprincípio da sustentabilidade ambiental em seu escopo.

Nesse diapasão, propõe-se, como objetivo geral, investigar a existência e eficácia de uma política fiscal e tributária de incentivo ao desenvolvimento e utilização de biotecnologias nos processos de remediação de petroderivados no litoral marinho brasileiro, com um enfoque na perspectiva da extrafiscalidade ambiental.

Os objetivos específicos deste estudo compreendem a análise da legislação vigente relacionada aos benefícios fiscais envolvidos no contexto de remediação de áreas contaminadas por petroderivados, a avaliação de eventuais práticas biotecnológicas aplicadas nesse contexto e a investigação dos impactos sociais e ambientais resultantes da implementação dessas políticas.

A abordagem metodológica adotada baseia-se no método hipotético-dedutivo do tipo bibliográfica, que combina elementos de pesquisa básica e aplicada, com ênfase qualitativa, utilizando análise de literatura especializada e exame de dados e documentos oficiais de domínio público.

Esse estudo está estruturado em três capítulos principais, que irão abordar elementos críticos acerca do tema principal. No primeiro capítulo serão abordados aspectos relacionados à extrafiscalidade ambiental, onde será explorada a natureza e seus propósitos como instrumentos potenciais à proteção ambiental no país, associando sua importância na preservação do ambiente marinho nacional.

No segundo capítulo serão abordadas as relações complexas da indústria petrolífera, a importância do petróleo e seus derivados para a economia brasileira e os impactos ambientais inerentes a esta atividade. Serão expostos os principais incidentes registrados que envolvem a contaminação por petroderivados e o papel fundamental da biotecnologia nos processos de descontaminação por compostos de petróleo, bem como legislações brasileiras pertinentes à prevenção de atividades de risco de contaminações e a preservação por meio de alternativas mais sustentáveis e de menor custo.

O terceiro capítulo abordará exemplos de políticas fiscais e extrafiscais que versam sobre a extrafiscalidade para tutela ambiental, bem como o desenvolvimento e utilização de biotecnologias nos processos de remediação dos petroderivados no que tange aos ambientes marinhos em contexto nacional. Este capítulo terá como foco principal apontar as implicações práticas da extrafiscalidade ambiental, avaliando os incentivos fiscais e extrafiscais existentes, bem como analisando, no contexto nacional, o impacto da ausência de política extrafiscal direcionada ao desenvolvimento de processos biotecnológicos de biorremediação, realizando

comparativos da extrafiscalidade com outros métodos mais tradicionais de financiamentos na atividade petroléira.

A temática abordada demonstra relevância, uma vez que envolverá a integração entre a extrafiscalidade tributária, a proteção ambiental em litorais marinhos e o desenvolvimento e incentivo de tecnologias inovadoras para a remediação de poluição causadas por derramamentos de petroderivados. Isso posto, pretende-se trazer contribuições científicas acerca da temática para a sociedade, bem como ao contexto jurídico.

2 A EXTRAFISCALIDADE COMO POLÍTICA TRIBUTÁRIA DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL

Antes da promulgação da Constituição Federal Brasileira de 1988, o poder de tributar no país caracterizava-se, principalmente, pela sua concentração na União, onde o sistema tributário era composto, em grande parte por impostos indiretos havendo pouca autonomia de Estados e Municípios. Bem como as legislações tributárias eram limitadas quanto ao amparo aos contribuintes e promoviam pouco enfoque aos princípios sociais com ausência de órgão específico para o controle da constitucionalidade tributária.

Com o advento da promulgação da Constituição Federal de 1988 houve uma mudança significativa no cenário tributário e nas relações federativas, e entender esse contexto é importante uma vez que a outorga do Estado acerca do poder de tributar passou a ter como objetivo a supressão de recursos aos cofres públicos e proporcionar o bem comum ao povo. Desta forma, foi possível que esse mesmo Estado utilizasse o sistema tributário para finalidades distintas da mera arrecadação de recursos financeiros, advindo assim, a extrafiscalidade tributária.^{1,2}

Tal instrumento passou a atuar como inibidor ou fomentador de comportamentos, lastreando-se em objetivos específicos, que possibilitam ao Estado a intervenção em determinadas áreas, como na economia e no meio ambiente por exemplo, almejando o êxito de suas ações programáticas e não simplesmente a obtenção direta de recursos financeiros, o que ratifica a ideia de que a extrafiscalidade tributária busca apenas o estímulo ou reprimenda a condutas específicas.³

Nesse contexto, a capacidade do sistema tributário de absorver as demandas constitucionais e prover incentivos fiscais ou a majoração da carga tributária para moldar comportamentos ambientalmente protetivos ou nocivos, em prol da proteção ambiental através da extrafiscalidade ambiental, tem o potencial de uma mudança de paradigma com expressiva proposta de preservação ambiental.

¹BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, [1988] 2016. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf. Acesso em: 06 nov. 2022.

²BLANCHET, Luiz Alberto; OLIVEIRA, Edson Luciani. Tributação da energia no Brasil: necessidade de uma preocupação constitucional extrafiscal e ambiental. Sequência: Estudos Jurídicos e Políticos. Florianópolis, v. 35, n. 68, p. 159-188, jun. 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/sequencia/article/view/2177-7055.2013v35n68p159>>. Acesso em: 06 nov. 2022.

³CARVALHO, Paulo de Barros. Curso de direito tributário. 31. ed. São Paulo: Noeses, 2021. pgs. 256-258.

Por conseguinte, transcendeu-se que a proteção do meio ambiente ecologicamente equilibrado passou a ser dever do Estado e direito fundamental assegurando às atuais e futuras gerações, que reflete diretamente em sua qualidade de vida, além de ser uma questão eminentemente de direito que deve ser gerida sob influência econômica, política e, adicionalmente, em um contexto de incerteza científica, tornando assim a temática bem mais complexa.⁴

Ademais, a crescente edição de variações legais nas normatizações tributárias em âmbito nacional, visando à tutela do meio ambiente através de tributação, encontra-se ainda nos primórdios de difusão, evidenciando a necessidade do desenvolvimento de pesquisas na área para a propositura de discussões e elucidação desse fenômeno jurídico-tributário.⁵

Logo, a transformação do sistema tributário de seu papel tradicional de simples arrecadador de recursos para o papel de influenciador de comportamento por meio da extrafiscalidade tributária, no contexto brasileiro, marca um avanço significativo. Esta mudança permite ao Estado utilizar as tributações não somente como uma ferramenta de geração de receitas, mas também como um meio de influenciar comportamentos específicos, especialmente em áreas importantes para o bem comum, como o ambiente.

2.1 Extrafiscalidade Ambiental

Há de se ressaltar que, eminentemente, a tributação tem sua essência na finalidade fiscal. Em outras palavras, objetiva a arrecadação de recursos aos cofres do Estado. Porém, como já explicado, ocasionalmente, os tributos são utilizados em finalidades diversas para além da mera arrecadação de valores, promovendo-se, portanto, a sua finalidade extrafiscal.⁶

Assim, a tributação extrafiscal, ou extrafiscalidade, define-se como a aplicação de dispositivos legais para o alcance de objetivos que devem prevalecer sobre a arrecadação de recursos monetários. Porém, faz-se imprescindível observar que tais pretensões tributárias sempre deverão observar os limites constitucionais

⁴ SERAFIN, Ieda Terezinha; HENKES, Jairo Afonso. Água de Lastro: um problema ambiental. Estudo de Caso. Rev. Gest. Sust. Ambient., Florianópolis, v. 2, n. 1, p. 92-112, abr./set., 2013.

⁵ ALBUQUERQUE, Roberto Chacon. A reforma tributária ecológica alemã. Revista da Faculdade de Direito, São Paulo, v. 98, p. 137-156, jan. 2003.

⁶ CARVALHO, Paulo de Barros. *loc cit.*

executáveis ao exercício do Poder de Tributar.⁷

Nesse sentido, a extrafiscalidade tributária é um considerável conceito que propõe a inibição de condutas socialmente reprováveis e, de modo inverso, induz a comportamentos salutarres, como a proteção ao meio ambiente, entre outros, em detrimento da capacidade econômica dos contribuintes. Ressaltando-se que em nenhum caso poderá haver privação da capacidade econômica do cidadão no que se refere ao provimento do seu mínimo existencial. Pois se assim procedesse, estaria presente o nítido caráter confiscatório e não regulador ou indutor de condutas benéficas à sociedade.⁸

Assim, mais precisamente, as políticas tributárias devem sempre objetivar os fins do Estado, com pretensão de alcançar um desenvolvimento duradouro, que fomenta ações e comportamentos virtuosos e que iniba impactos nocivos dos variados agentes. Porém, sem possuir caráter sancionatório ou apenas arrecadatório, mas sim indutor, considerando os parâmetros de sustentabilidade.⁹

Deste modo, a função extrafiscal do tributo permitirá o aumento da carga tributária, bem como a transformação de condutas consideradas socialmente indesejadas que fomentem o equilíbrio das atividades econômicas com os recursos naturais explorados.¹⁰

Destarte, a extrafiscalidade pode interferir nas relações particulares e empresariais, incentivando o desenvolvimento de novas tecnologias para remoção de petroderivados na ocorrência de acidentes ambientais, seja almejando a preservação do ambiente litorâneo e marinho, bem como majorando a tributação sobre a atividade petrolífera em alto mar.¹¹

Logo, a tributação extrafiscal, como já dito, está plenamente apta a produzir ou alterar comportamentos de determinados agentes e setores da economia. Isso pode propor uma ampla mudança de paradigma no que se refere à mudança de

⁷ *Ibid*, pgs. 256-258.

⁸ CAVALCANTE, Denise Lucena; CALIENDO, Paulo. Extrafiscalidade no âmbito da indústria alimentar: reflexos no consumo de refrigerantes. In: Tributação de bebidas adoçadas: extrafiscalidade em prol da saúde. CALIENDO, Paulo; CAVALCANTE, Denise Lucena; CATARINO, João Ricardo (Orgs.). Porto Alegre: Editora Fundação Fênix, 2022.

⁹ TOMKOWSKI, Fábio. A tributação extrafiscal e as teorias da decisão como indutores de comportamentos sustentáveis. Revista Jurídica Luso-Brasileira, n. 2, p. 483-501, 2016.

¹⁰ FERREIRA, Carolina Iwancow. Proteção ambiental e seus reflexos econômicos no direito tributário brasileiro. Revista da Faculdade de Direito da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, n. 67, p. 125-149, jul./dez. 2015.

¹¹ BOFF, Salete Oro; BOFF, Vilmar Antônio. Extrafiscalidade tributária como política pública voltada à sustentabilidade socioambiental. RJLB. Ano 7, n. 5, 2149-2171. 2021.

práticas que visem a proteção do meio ambiente através do desenvolvimento tecnológico, ou até mesmo na mudança da matriz energética para a ampliação de uma energia limpa, obviamente sob orientações de proteção ambiental sem perder de vista a importância econômica da atividade desenvolvida.¹²

Ademais, a extrafiscalidade possui uma dupla conceituação. Primeiramente, em um sentido restritivo, pode ser caracterizada como um instrumento autorizador da competência tributária ordenadora, interventiva ou redistributiva. Porém, em uma acepção mais ampla, há a inserção dos efeitos extrafiscais das normas tributárias na própria natureza dos tributos. Assim, neste último caso, seria permissiva a ampliação de ações indutoras do Estado para além dos limites constitucionais.¹³

E graças a esta dupla conceituação, depreende-se que a caracterização da extrafiscalidade tributária no Brasil tem como elemento principal o fim constitucional pretendido, que dispõe acerca da normatização das finalidades da Ordem Constitucional ou Social. E, nessa toada, o meio utilizado e a técnica adotada são, respectivamente, os elementos secundários deste método tributário. Porém, em que pesem tais elementos, ressalta-se que a natureza da norma extrafiscal provém da finalidade constitucional e não da destinação dos recursos ou meios utilizados.¹⁴

De outro modo, o conceito de extrafiscalidade, de acordo com a teoria de Pigou¹⁵, restará demonstrado quando o Estado intervir na economia por meio de

¹² STELO, Gilmar.; MURARO, Leonardo Gonçalves. Política tributária e meio ambiente. Brasília: OAB Editora, 2009.

¹³ CALIENDO, Paulo. Tributação e ordem econômica: os tributos podem ser utilizados como instrumentos de indução econômica? Revista Direitos Fundamentais & Democracia, Curitiba, v. 20, n. 20, p. 193-234, jul./dez. 2016.

¹⁴ *Ibid*, pgs. 193-234.

¹⁵ SALLES, Alexandre Ottoni Teatini; MATIAS, Ariella Lopes. Uma análise da teoria das externalidades de Pigou e Coase e suas aplicações na abordagem teórica da Economia Ambiental. Informe Econômico (UFPI). Ano 24. Vol. 44. N 1. Jan/jun, 2022: *“Uma das mais importantes contribuições acadêmicas do economista inglês Arthur Cecil Pigou (1877-1959) foi seu trabalho seminal que lançou as bases para a teoria do bem-estar e das externalidades, desenvolvida principalmente em Wealth and Welfare (1912) e nas sucessivas edições de The Economics of Welfare (1920, 1ª edição). Não é preciso exagerar a importância deste trabalho para as Ciências Econômicas. A abordagem pigouviana sobre estes temas tem sido utilizada por gerações de economistas desde então, presente nos manuais de Economia e incorporando-se ao conhecimento elementar das Ciências Econômicas. Ademais, tais temas têm sido amplamente utilizados por diferentes Escolas de Pensamento para explicar fenômenos econômicos dos mais diversos, sendo assim aplicados a contextos históricos também distintos.*

Em Wealth and Welfare (WW), Pigou desenvolve os principais elementos de sua teoria do bem-estar. Dentre outras coisas, ele discute o papel da intervenção pública com vistas a alcançar a maior eficiência econômica; analisa formas de melhorar a justiça distributiva e estuda os efeitos das flutuações macroeconômicas no bem-estar da sociedade. Além disso, introduz a noção de “obstáculos” ou “desajustamentos” como elementos que afetam o equilíbrio do mercado. Também lançou as bases para o estudo das externalidades (sem usar este termo), tópico a ser tratado adiante.”

incentivos fiscais, frente à existência de uma externalidade positiva. E por meio de um sistema de impostos, frente à ocorrência de uma externalidade negativa.

Este conceito é amplamente criticado porquanto estabelece a possibilidade de atuação fiscal do Estado objetivando o desestímulo às externalidades negativas, mesmo que seja em matéria ambiental. Tal premissa é fortemente questionada por que o fim maior do direito ambiental é a justiça social e a preservação do meio ambiente. Assim, resta cristalino que a inter-relação entre a economia e o direito ambiental só ocorrerá envolvendo necessariamente as extrafiscalidades.¹⁶

Em sentido consonante, há a impossibilidade de aplicação do caráter fiscal almejando a preservação ambiental, uma vez que a tributação extrafiscal, e em especial a tributação ambiental, não se destinam a punir ilicitudes, e sim a orientar o agente econômico no planejamento lícito da sua atividade de acordo com uma política pública ambiental fundamentada pela Constituição Federal.¹⁷

O ordenamento jurídico brasileiro está repleto de exemplos praticados com a aplicação da regra da extrafiscalidade na preservação ambiental. Assim, convém ressaltar o acordo com a Lei de nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996¹⁸, que dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural – ITR, na esfera de competência da União, onde foram excluídas da sua base de cálculo, as áreas de floresta nativa e outras consideradas pela legislação como de preservação permanente, configurando uma verdadeira hipótese de isenção tributária.¹⁹

Em alguns Estado, como São Paulo por exemplo, há a experiência do chamado Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – Ecológico, ou ICMS Ecológico, regulado pela Lei de nº 8.510/93. Neste caso não se trata especificamente de uma inovação na modalidade de tributação, e sim uma forma de repassar valores arrecadados pelo Estados aos Municípios que possuam áreas verdes preservadas em seus territórios.

Na esfera municipal, exemplifica-se a experiência no município de São Paulo através da Lei de nº 14.910/2009, regulamentada pelo Decreto de nº 50.522/2009, em que o Município dispôs acerca da possibilidade de isenção do

¹⁶ FIORILLO, Celso Antônio Pacheco e FERREIRA, Renata Marques. *Direito Ambiental Tributário*. 3. ed. São Paulo, 2010.

¹⁷ DOMINGUES, José Marcos. *Direito Tributário e Meio Ambiente*. 3. ed. Rio de Janeiro: Forense, 2007.

¹⁸ BRASIL. Lei nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996. *Lei da Propriedade Territorial Rural – ITR. Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural - ITR, sobre pagamento da dívida representada por Títulos da Dívida Agrária e dá outras providências.*

¹⁹ Inserir revista da UFC.

Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza – ISS, para os serviços de diversão, lazer e entretenimento que se relacionem a desfiles de escolas de samba, blocos carnavalescos ou folclóricos, trios elétricos e congêneres, realizados durante carnaval no Sambódromo de São Paulo.²⁰

Diante disso, é possível perceber que a isenção de ISS traz consigo um incentivo ao meio ambiente cultural muito importante, uma vez que a proteção ambiental não ficará restrita exclusivamente ao caráter natural do meio ambiente. Desta forma, percebe-se a variedade de incentivos fiscais que podem promover ou, ao menos propor, mudanças comportamentais do agente econômico. E, ao se analisar o aspecto de proteção do meio ambiente, há uma tendência mundial que coaduna no sentido de recepcionar e pôr em prática as extrafiscaisidades.

2.2 Extrafiscalidade como instrumento de proteção ambiental brasileira

Da mesma forma que o Estado através do princípio do poluidor-pagador impõe ao poluidor o pagamento de tributos em virtude de sua atividade poluidora, pode-se também, através do princípio do protetor-recebedor, conceder a redução gradual da tributação e estimular atuações em prol do meio ambiente ecologicamente equilibrado, o qual revela-se como um patrimônio coletivo, ou seja, um bem de uso comum do povo.²¹

Na França e demais países europeus, a terminologia de tributação ambiental abrange todos os impostos sobre produtos ou ativos com efeitos negativos sobre a economia e a qualidade ambiental. A utilização conjunta destes princípios pode servir como instrumento de proteção ao incentivar comportamentos ecologicamente corretos e desestimular àqueles denominados incorretos. Desta forma o incentivo fiscal tem grande potencial para ser concretizador do estabelecido no art. 225 da Constituição Federal ao fomentar a defesa do meio ambiente ecologicamente equilibrado, vez que é condição *sine qua non* a uma sadia qualidade de vida.²²

²⁰ MATTHES, Rafael Antonietti. Extrafiscalidade como instrumento de proteção ambiental no Brasil. *Veredas do Direito*. v. 8, n. 16, p. 47-62, jul-dez, 2011.

²¹ DERANI, Cristiane. *Direito ambiental econômico*. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2008. p. 246.

²² CHIROLEU-ASSOULINE, Mireille. La fiscalité environnementale en France peut-elle devenir réellement écologique? État des lieux et conditions d'acceptabilité. *Revue de l'OFCE*, vol. 139, no. 3, 2015, pp. 129-165.

Portanto, a extrafiscalidade, como já definido, discorre como pressuposto evolutivo do ato de tributar do Estado, migrando de uma atividade de natureza meramente arrecadatória à execução das finalidades do Estado que priorizem os mais variados fins, sejam eles sociais, econômicos ou políticos elencados na Constituição Federal.^{23,24}

Nesse contexto, em nível de Brasil, a Conferência da Organização das Nações Unidas realizada no Rio de Janeiro – ECO 92 também trouxe à luz o problema da tributação ambiental. E, em sua declaração final, foi incluído em seu texto, a temática de tributação ambiental – ecotax, também chamado de tributo verde, que deveria contar em sua origem com os seguintes pressupostos: a eficiência ambiental; o baixo custo; ser administrativamente barata e simples; e provocar o mínimo de efeitos no comércio internacional. Tendo, portanto, como base a extrafiscalidade que objetivasse a proteção do meio ambiente e a promoção do desenvolvimento sustentável.²⁵

Logo, nacionalmente, alguns tributos assumiram primordial importância dentro do tema da tributação ambiental. Alguns exemplos são encontrados no ICMS Ecológico, isenção ambientalmente orientada do ITR, Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental e a Contribuição de intervenção no domínio econômico – “CIDE combustíveis”.

Ademais, estipulou-se que aos entes municipais que adotassem o ICMS Ecológico, através da permissão constitucional sobre os critérios de distribuição de receita, seria destinada a distribuição de receita deste $\frac{1}{4}$ (um quarto) levando em consideração os valores e critérios que representassem e seu compromisso ambiental. Assim, estaria sendo respeitado o disposto no inciso II, do artigo 158 da Constituição Federal, que permite que até $\frac{1}{4}$ da fatia de 25%, pertencente aos Municípios, seja distribuído de acordo com as leis a serem criadas pelos Estados.²⁶

Na sequência, o Estado de São Paulo também criou o ICMS Ecológico,

²³ PAULSEN, Leandro. Curso de Direito Tributário: Completo. 5ª ed. rev. atual. e ampl. Porto Alegre: Livraria do Advogado Editora. 2013. pags. 2-22.

²⁴ PINTO, Keziah Alessandra Vianna Silva. Introdução ao direito ambiental tributário. Campinas, SP: Editora Alínea, 2012. p. 9.

²⁵ RIBAS, Lidia Maria Rodrigues. Defesa Ambiental: Utilização de Instrumentos Tributários. In: TORRES, Heleno Taveira. Direito Tributário Ambiental. São Paulo: Malheiros, 2005.

²⁶ AREIAS, Elisa dos Santos. Estudo da extrafiscalidade dos tributos para redução de impactos ambientais. 2020. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito, Faculdade Nacional de Direito – FND, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, RJ, 2020.

através da Lei de nº 8.510/1993²⁷, onde passou a distribuir 0,5% da arrecadação do ICMS aos municípios detentores de Unidades de Conservação e os outros 0,5% aos municípios possuidores de áreas de barragens e reservatórios de água, do total de 1% do ICMS pertencentes a estes entes.²⁸

Dentre outros exemplos, resta claro que o ICMS Ecológico comprova ser um importante e exitoso instrumento econômico que assertivamente proporciona a consecução da finalidade constitucional de preservação. Assim promove-se a justiça fiscal e há a influência da ação voluntária dos municípios que buscam um aumento de receita.²⁹

Há de se ressaltar que na origem do ICMS Ecológico, observou-se a impressão de que havia surgido apenas uma forma de compensação aos municípios que mantivessem em seus territórios unidades de conservação ou mananciais de abastecimento público. Porém, em um segundo momento, foi possível verificar o imperioso papel desse instrumento no incentivo da preservação ambiental, ao se perceber que os entes municipais detentores de áreas preservadas passaram a se preocupar de sobremaneira a conservá-las.³⁰

Assim, na prática, os critérios legalmente estabelecidos e os valores ambientais, passaram a definir uma escala ecológica municipal onde cada ente recebe um montante proporcional ao seu compromisso assumido e resultados ambientais obtidos. Contudo, é primordial esclarecer que o fato gerador do ICMS não sofre modificação pelo fato de uma parte de suas receitas serem distribuídas a Municípios considerando critérios ambientais.²⁴

Em sentido diverso, existem correntes que entendem que o ICMS Ecológico não pode ser enquadrado como tributo extrafiscal ambientalmente orientado, uma vez que não ordena nem direciona o comportamento dos contribuintes para a preservação ambiental. Sequer havendo destinação de recursos para o custeio da proteção ao meio ambiente. Assim, os adeptos dessas correntes entendem que a

²⁷ SÃO PAULO. Lei de nº 8.510, de 19 de dezembro de 1993, que altera a Lei 3.201, de 23 de dezembro de 1981, dispondo sobre a parcela pertencente aos municípios do produto da arrecadação do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação – ICMS.

²⁸ TUPIASSU, Lise Vieira da Costa; SCAFF, Fernando Facury. Tributação e Políticas Públicas: O ICMS Ecológico. In: TORRES, Heleno Taveira. Direito Tributário Ambiental. São Paulo: Malheiros, 2005. p. 739.

²⁹ *Ibid*, p. 121.

³⁰ SEBASTIÃO, Simone Martins. Tributo Ambiental: Extrafiscalidade e Função do Direito. Curitiba: Juruá, 2010.

orientação ambiental do ICMS Ecológico está fortemente ligada à política financeira dos Estados, apenas levando em conta critérios ambientais quando da distribuição de receitas, e não propriamente ao Direito Tributário.³¹

Para além do ICMS Ecológico, o ITR – Imposto sobre Propriedade Rural, faz uso da extrafiscalidade ambiental quando permite ao contribuinte deduzir da sua base de cálculo do imposto, as áreas ambientalmente preservadas. E, nesse sentido, a Lei de nº 9.393/1996, no art. 10, do seu § 1º³², prevê as áreas dedutíveis e exclui da área tributável as áreas de interesse ambiental.

Ademais, o legislador ao estabelecer a regra de incidência do ITR, precisou considerar os aspectos ambientais que envolviam a desoneração tributária das áreas de preservação permanente e de reserva legal, e as áreas de interesse ecológico para proteção dos ecossistemas.³³

Além do ICMS Ecológico e do ITR extrafiscal, é importante pontuar o IPVA – Imposto sobre propriedade de veículos automotores, que começou a ser reconhecido por alguns Estados brasileiros como instrumento de estímulo eficaz às condutas de menor impacto ambiental. Assim, considera-se na apuração do critério quantitativo desse tributo, especificamente, a qualidade do veículo automotor, e sua relação direta com o grau de poluição do combustível utilizado.³⁴

Assim, cita-se novamente o exemplo do Estado de São Paulo, onde a Lei Estadual de nº 13.296/2008³⁵, estipulou o critério quantitativo do IPVA, adotando a alíquota de 4% para veículos que utilizam como combustível gasolina e 3% para os

³¹ TUPIASSU, Lise Vieira da Costa; SCAFF, Fernando Facury. loc cit. p. 121.

³² BRASIL. Lei de nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996, Código Tributário Nacional. E dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural – ITR, sobre pagamento da dívida representada por Títulos da Dívida Agrária e dá outras providências. Assim, em seu art. 10, § 1º, tem-se a inteligência: “Art. 10. A apuração e o pagamento do ITR serão efetuados pelo contribuinte, independentemente de prévio procedimento da administração tributária, nos prazos e condições estabelecidos pela Secretaria da Receita Federal, sujeitando-se a homologação posterior. § 1º Para os efeitos de apuração do ITR, considerar-se-á: [...] II - área tributável, a área total do imóvel, menos as áreas: a) de preservação permanente e de reserva legal, previstas na Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012; b) de interesse ecológico para a proteção dos ecossistemas, assim declaradas mediante ato do órgão competente, federal ou estadual, e que ampliem as restrições de uso previstas na alínea anterior; c) comprovadamente imprestáveis para qualquer exploração agrícola, pecuária, granjeira, aquícola ou florestal, declaradas de interesse ecológico mediante ato do órgão competente, federal ou estadual; d) sob regime de servidão Ambiental; e) cobertas por florestas nativas, primárias ou secundárias em estágio médio ou avançado de regeneração; f) alagadas para fins de constituição de reservatório de usinas hidrelétricas autorizada pelo poder público”.

³³ SOUZA. Jorge Henrique de Oliveira. Tributações e o Meio Ambiente. Belo Horizonte: DelRey, 2009. p. 163.

³⁴ *Ibid*, p. 176.

³⁵ SÃO PAULO. Lei nº 13.296, de 23 de dezembro de 2008. Lei da Extrafiscalidade IPVA – São Paulo. Estabelece o tratamento tributário do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores – IPVA.

veículos a Álcool, Gás Natural ou Energia Elétrica.

Em outro sentido, a orientação ambiental acerca da contribuição social de intervenção no domínio econômico relativo às atividades de importação ou comercialização de petróleo e seus derivados, gás natural e álcool combustível, ou popularmente denominada de “CIDE dos combustíveis” tem previsão no § 4º do artigo 177 da Constituição Federal.³⁶

Esta mesma obra também estipula alguns pressupostos que permitem a diferenciação da alíquota da CIDE por produto ou uso, e a destinação de recursos para financiamento de projetos ambientais relacionados com a indústria do petróleo e do gás. Sendo perceptível a utilização do instrumento da extrafiscalidade na tentativa de indução de comportamentos econômicos benéficos ao meio ambiente.³⁷

Assim, percebe-se o estímulo e desestímulo de atividades econômicas em busca do meio ambiente ecologicamente equilibrado através de instrumentos tributários que produzam a sua máxima efetivação. Logo, tais instrumentos e mecanismos servirão ao Estado nas suas intervenções econômicas que induzam os comportamentos almejados e desestimulem os nocivos, sendo estes os mecanismos da tributação, especialmente no campo da extrafiscalidade.³⁸

A adoção de hábitos adequados promove a redução das despesas públicas e amplia a qualidade de vida da coletividade, alterando, conseqüentemente, a qualidade de vida global. E como todas as atividades essenciais do ser humano são poluentes e acarretam riscos, demasiados ou mínimos ao meio ambiente, uma mudança de paradigmas para alterar as ações do homem vislumbrando a redução destes impactos ambientais, resultaria em benefícios à própria qualidade de vida da população.³⁹

Nesse sentido é que a Constituição Federal de 1988 atribuiu em seu texto normativo deveres ao poder público voltados a assegurar a efetividade da manutenção de um meio ambiente ecologicamente equilibrado, e como estas medidas produzem inevitavelmente economia de gastos do Poder Público inversamente proporcional aos custos ao particular, necessário se faz um tratamento tributário

³⁶ SEBASTIÃO, Simone Martins. *loc cit.*

³⁷ *Ibid.*

³⁸ PINTO, Keziah Alessandra Vianna Silva. *loc cit.* p. 10.

³⁹ MORAES, William Thiago; SOLA, Fernanda. Extrafiscalidade ambiental – o estado de conhecimento no Brasil. Novos Cadernos NAEA. v. 22, n. 3, p. 157-175, set-dez. 2019.

diferenciado a todos aqueles que adotem ações protetivas ambientais.⁴⁰

Assim, a importância desta política tem-se demonstrado em *status* crescente de difusão, principalmente nos países industrializados, onde seus efeitos sobre o comércio internacional são perceptíveis no aparecimento e consolidação de barreiras tarifárias. E, como cada país possui suas características intrínsecas e convive com seus problemas regionais, percebem-se diferenças nos princípios e tipos instrumentais utilizados nas suas políticas ambientais.⁴¹

Outro ponto que merece apreciação diz respeito a atuação interventiva do Estado com a execução de modo mais célere e efetiva da pretensão de alcance de algum objetivo social, econômico ou político. E, com a crise ambiental atual, onde todos os biomas do planeta apresentam os impactos nocivos da poluição, decaimento de sua qualidade com conseqüente redução de sua biodiversidade, aumento dos resíduos sólidos e líquidos, bem como gases de efeito estufa lançados indiscriminadamente no meio ambiente, admite-se toda e qualquer tentativa em prol da reversão desse quadro. Bem como, a implementação de políticas públicas⁴² que deem máxima aplicabilidade ao exposto no artigo 225 da Constituição Federal.⁴³

Porém, é necessário ter em mente que políticas públicas não são tomadas inadvertidamente. Elas necessitam ser objeto de abstração e planejamento, uma vez que visam objetivos específicos que essencialmente transpõem a escolha de prioridades, a reserva de meios necessários à sua execução e, por fim, o intervalo de tempo até o êxito nos resultados. E, nesse sentido, tem-se observado que apenas a regulação da proteção ambiental não tem sido suficiente em tornar efetivo o direito ao meio ambiente sadio, conforme disposto pelo constituinte originário como essencial à jurídica nacional. Logo, necessário também se faz a repressão a condutas que afrontem as normas jurídicas fazendo uso de mecanismos de motivação e incentivo à

⁴⁰ YOSHIDA, Consuelo Yatsuda Moromizato. O juiz e a constituição ecológica. In O direito e a dignidade humana: aspectos éticos e socioambientais. Org. YOSHIDA, Consuelo Y. M.; RAMPAZZO, Lino. Campinas, SP: Editora Alínea, 2012. p. 183.

⁴¹ YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann; CÁNEPA, Eugenio Miguel; LUSTOSA, Maria Cecília Junqueira. Política ambiental. p. 163 – 179. In: MAY, Peter H. (Org.). Economia do meio ambiente: teoria e prática. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 163.

⁴² Para BUCCI (2006), p. 39: “*Política pública é o programa de ação governamental que resulta de um processo ou conjunto de processos juridicamente regulados – processo eleitoral, processo de planejamento, processo orçamentário, processo legislativo, processo administrativo, processo judicial – visando coordenar os meios à disposição do Estado e as atividades privadas, para a realização de objetivos socialmente relevantes e politicamente determinados*”.

⁴³ *Ibid.* pags. 38-39.

concretização da proteção ao meio ambiente.⁴⁴

Logo, é possível perceber que a concessão de estímulos fiscais que atuam como medidas de políticas eficazes na proteção ambiental e instrumentos jurídicos, tal como prescrito nos princípios da precaução e da prevenção, servem para prevenir e evitar consequências mais desastrosas e outros problemas provenientes do desgaste ambiental promovido pela ação humana. Bem como servem também de estímulos à tutela do meio ambiente dentro do próprio direito ambiental. Assim, esta tutela ambiental preventiva é a ideal para promover o meio ambiente cada vez mais ecologicamente equilibrado, porquanto busca mitigar o dano ambiental.⁴⁵

Deste modo, a concessão de incentivos fiscais frente a uma sociedade cada vez mais consumista e demasiadamente poluidora, tem como resultado a prevenção, em maior ou menor nível dos seus particulares, em especial das atividades potencialmente poluidoras. Porém, a tarefa de reeducação deste particular para uma interação mais qualitativa que reduza o impacto tanto no âmbito individual quanto no coletivo, é uma tarefa árdua e constante.⁴⁶

Portanto, a questão da promoção de um ambiente ecologicamente equilibrado é de extrema urgência uma vez que o impacto ambiental nocivo traz consigo características transfronteiriças, afetando não apenas a comunidade regional, mas também todo o planeta com consequências globalmente visíveis, e que em alguns casos, apresenta alterações praticamente irreversíveis.⁴⁷

Assim, a propensão da redução dos impactos ambientais justifica plenamente a adoção de um regime tributário diferenciado a todos aqueles que buscam uma conduta ecologicamente correta, como o que tem sido usado no Brasil, conforme exemplos citados. Por outro lado, ao se objetivar também o caráter educativo da política fiscal, é imprescindível que haja o desestímulo de condutas potencialmente poluidoras através, conjuntamente, de um sistema repressivo mais rígido.

⁴⁴ MATIAS, João Luis Nogueira; BELCHIOR, Germana Parente Neiva. Direito, economia e meio ambiente: a função promocional da ordem jurídica e o incentivo a condutas ambientalmente desejadas. Revista do Curso de Mestrado em Direito da UFC. 2007/2. p.155-176. 2007.

⁴⁵ PINTO, Keziah Alessandra Vianna Silva. *loc cit.* p. 30.

⁴⁶ OLIVEIRA, José Marcos Domingues. Direito Tributário e Meio Ambiente – proporcionalidade, tipicidade aberta, afetação da receita. 3 ed. Rio de Janeiro: Renovar, 2007. p. 37.

⁴⁷ BOIX, Rodolfo Rubén Salassa. La protección ambiental a partir del derecho fiscal. In: La investigación jurídica en políticas públicas ambientales. Org. JULIÁ, Marta Susana; ULLA, María Carolina; BOIX, Rodolfo Rubén Salassa. 1. ed. Unquillo: Narvaja Editor, 2014. p. 30.

2.3 Extrafiscalidade através de renúncia de receita

Representando uma das vertentes mais dinâmicas do sistema tributário moderno, a extrafiscalidade tem demonstrado que a tributação pode transcender sua finalidade primordial de arrecadação e assumir um papel mais amplo e proativo na consecução de objetivos sociais, econômicos e ambientais, sendo um desses instrumentos a renúncia de receita, através da qual o Estado, deliberadamente, renuncia a uma parte de sua arrecadação tributária para promover determinadas ações ou políticas públicas, que mesmo propositivas, por vezes podem encontrar na Lei de Responsabilidade Fiscal – LRF, um entrave à sua plena execução, principalmente quando limitadas pelo disposto em seu artigo 14⁴⁸.

Assim, a praxe fiscalizatória da renúncia deverá ocorrer tanto internamente, através do próprio renunciante, quanto externamente, através do Poder Legislativo, conforme disposto no artigo 70⁴⁹ da Constituição Federal. Assim, tal controle se inicia a partir do planejamento dos gastos públicos, onde as potenciais renúncias de receita serão objeto do projeto de lei orçamentária, em consonância com § 6^{o50}, do artigo 165, da Constituição Federal.

Nesse sentido, estabelece-se que a renúncia de receita é uma temática de política pública que objetiva a promoção do suporte financeiro necessário à efetivação dos programas de governo, além de projetos e atividades relevantes de interesse da

⁴⁸ BRASIL. Lei Complementar de nº 101, de 04 de maio de 2000. Lei de Responsabilidade Fiscal. Estabelece normas de finanças públicas voltadas para a responsabilidade na gestão fiscal e dá outras providências: “Art. 14. A concessão ou ampliação de incentivo ou benefício de natureza tributária da qual decorra renúncia de receita deverá estar acompanhada de estimativa do impacto orçamentário financeiro no exercício em que deva iniciar sua vigência e nos dois seguintes, atender ao disposto na lei de diretrizes orçamentárias e a pelo menos uma das seguintes condições: I - demonstração pelo proponente de que a renúncia foi considerada na estimativa de receita da lei orçamentária, na forma do art. 12, e de que não afetará as metas de resultados fiscais previstas no anexo próprio da lei de diretrizes orçamentárias; II - estar acompanhada de medidas de compensação, no período mencionado no caput, por meio do aumento de receita, proveniente da elevação de alíquotas, ampliação da base de cálculo, majoração ou criação de tributo ou contribuição. § 1º A renúncia compreende anistia, remissão, subsídio, crédito presumido, concessão de isenção em caráter não geral, alteração de alíquota ou modificação de base de cálculo que implique redução discriminada de tributos ou contribuições, e outros benefícios que correspondam a tratamento diferenciado”.

⁴⁹ BRASIL. Constituição Federal da República Federativa do Brasil. Art. 70: “A fiscalização contábil, financeira, orçamentária, operacional e patrimonial da União e das entidades da administração direta e indireta, quanto à legalidade, legitimidade, economicidade, aplicação das subvenções e renúncia de receitas, será exercida pelo Congresso Nacional, mediante controle externo, e pelo sistema de controle interno de cada Poder”.

⁵⁰ BRASIL. Constituição Federal da República Federativa do Brasil. Art. 165, § 6º: “Leis de iniciativa do Poder Executivo estabelecerão: [...] § 6º O projeto de lei orçamentária será acompanhado de demonstrativo regionalizado do efeito, sobre as receitas e despesas, decorrente de isenções, anistias, remissões, subsídios e benefícios de natureza financeira, tributária e creditícia”.

sociedade. Portanto, o ato de renunciar alguma receita pública pode ser, conseqüentemente, uma decisão de governança política estatal para estimular comportamentos, práticas e ações específicas que estejam alinhadas com políticas de desenvolvimento sustentável, inovação tecnológica, proteção ambiental, entre outras que ocorrem de diversas formas, incluindo isenções, reduções de alíquotas, créditos tributários, entre outros.⁵¹

Trata-se, portanto, de uma aplicação pacificada em diversos países de todos os continentes. Assim, independentemente do nível de desenvolvimento econômico-social e regime de governo, o único pressuposto objetivo é a promoção do aporte financeiro necessário à realização de programas de equilíbrio e desenvolvimento socioeconômico setorial do país, bem como o desenvolvimento de grupos econômicos estratégicos e favorecimento de específicos setores de contribuintes.⁵²

Destarte, é essencial entender que as propostas de renúncia de receitas são a solução apresentada à realocação de verbas públicas que objetivam o reequilíbrio das contas do Estado. Porém, instituir uma política de governo de natureza extrafiscal em prol do meio ambiente, faz com que a Administração seja compelida a executar obrigações constitucionais que lhe são inerentes. Dessa forma, evita-se o aumento das despesas para patrocínio de demandas ambientais, já que estas precisam estar inseridas no planejamento orçamentário, como preceitua o art. 165 da Constituição Federal, aqui já citado.

Além de evitar o aumento de despesas públicas, outro aspecto que precisa ser bem analisado se refere ao fato de que está disposto no texto constitucional não poder ser objeto de equiparação a outras benesses concedidas de forma aleatória, que são veementemente constitucionais ao dispor que o planejamento precisa ser anterior à concessão e deve também considerar as regras da LRF para sua aprovação. Assim é possível que se faça uso de políticas que promovam uma reorganização social em prol do meio ambiente que permitam que condições sustentáveis sejam preservadas de modo a garantir a igualdade de chances das gerações futuras.⁵³

⁵¹ ALMEIDA, Francisco Carlos Ribeiro. A renúncia de receita como fonte alternativa de recursos orçamentários. Revista do TCU, n. 88, p. 54-65, 1988. p. 19.

⁵² *Ibid.*, p. 20.

⁵³ VANZELLA, José Marcos Miné. Crise ecológica e legitimidade do Direito: a questão das autonomias privada e pública a partir de Jünger Habermas. In: YOSHIDA, Consuelo Y. M.; RAMPAZZO, Lino (Orgs.). O direito e a dignidade humana: aspectos éticos e socioambientais. Campinas, SP: Editora Alínea, 2012. p. 40.

Destarte, é imperativo observar que a renúncia de receita não é uma ação sem custos. Ao contrário, representa um “gasto tributário” por parte do Estado que deixa de arrecadar recursos que poderiam ser destinados a outras finalidades. Desse modo, deve ser implementada com cautela, visando garantir que os benefícios almejados superem os custos associados à diminuição da arrecadação.⁴⁴

Portanto, os incentivos fiscais ambientais não podem ser utilizados indiscriminadamente, uma vez que dependem, dentre outras especificações, de um planejamento financeiro ordenado e baseado em seu regramento, através do princípio da legalidade. Logo percebe-se que a LRF, à luz da Constituição Federal de 1988, transpõe claramente a necessidade de uma robustez legal às vantagens a serem aplicadas, como política pública extrafiscal ao orçamento público. Não impõe limitações ou restringindo-a, mas apenas promovendo parâmetros para sua aplicação.^{54,55}

Inicialmente pode-se ter a impressão de que a LRF tende a tornar inviável uma política extrafiscal efetiva frente a possibilidade de renúncia de receita. Porém, a interpretação da lei não deve fugir à sua fonte originária, ou seja, a própria Constituição Federal. Logo, esta dispõe de regras de planejamento e execução para o exercício financeiro e trata a extrafiscalidade do tributo como fonte fomentadora da economia, notadamente às isenções fiscais. Portanto, sempre haverá a necessidade prévia de instrumentos legislativos específicos à sua efetivação.

E, por não poderem ser utilizados indiscriminadamente e sem planejamento baseado em disposições legais, o que tenderia a parecer um empecilho à implementação da tributação ambiental é, na verdade, o mais eficiente modo de verificação da efetividade do emprego do tributo como instrumento para preservação sustentável do meio ambiente, principalmente quando for necessária a exigência de que a renúncia de receita possua em conjunto medidas de compensação através de aumento da carga tributária.⁵⁶

⁵⁴ EFRAIM, Rosely da Silva; MURTA, Antônio Carlos Diniz. Atos de improbidade na Lei de Responsabilidade Fiscal. I. Congresso Nacional do CONPEDI – UFMG/FUMEC/Dom Helder Câmara. 2015: Belo Horizonte, MG, definem Orçamento Público como: “*um instrumento administrativo de controle dos atos da Administração Pública pela sociedade, visando a limitação dos gastos públicos. Pode se dizer que é uma ferramenta que guia o agente público em suas ações, estando, desta forma, interligados orçamento e planejamento*”. p. 522.

⁵⁵ *Ibid.*, ps. 520-521.

⁵⁶ PINTO, Keziah Alessandra Vianna Silva; SELLMANN, Milena Zampieri. Tributo como instrumento para assegurar o direito fundamental ao meio ambiente. In: YOSHIDA, Consuelo Y. M.; RAMPAZZO, Lino (Orgs.). O direito e a dignidade humana: aspectos éticos e socioambientais. Campinas, SP: Editora Alínea, 2012. p.216.

Ademais, não se pode excluir a responsabilidade de todos na manutenção e equilíbrio do meio ambiente, independentemente de ser este um dever fundamental precípua do próprio Estado, que pode exercê-lo promovendo restrição ou desestímulo de atividades através da majoração da carga tributária individual, modificando comportamentos ou estimulando ações ecologicamente sustentáveis com a redução desta mesma carga tributária que a todos atinge.

É exatamente este o ideal a ser atingido pela tributação com fins ambientais, uma vez que se de um lado devem ser desestimuladas as ações ambientalmente indesejadas, porém lícitas, do outro lado, o Estado deve incentivar comportamentos ambientalmente desejados. Apenas deste modo será efetivo o uso dos tributos com a finalidade de proteção ambiental, respeitando, evidentemente, a LRF.

3 O MEIO AMBIENTE ECOLOGICAMENTE EQUILIBRADO: O PETRÓLEO, SEUS DERIVADOS E OS PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS DE REMEDIAÇÃO AMBIENTAL

Os séculos XIX e XX foram marcados pelo sentimento humano de apropriação. Essa sensação era proveniente da ideologia liberal-individualista que, somada aos avanços tecnológicos e científicos ocorridos tanto na Revolução Industrial, como após esse período, intensificou o consumo e a exploração dos recursos naturais, fazendo sobressair as regras de mercado.

Isso posto, a contínua ação humana que resultava em descontrolada degradação ambiental não tardou em promover a chamada crise ambiental que ultrapassou esses séculos e se solidificou na atual conjectura contemporânea, representada principalmente pela escassez de recursos naturais e desastres ambientais em nível global, gerando um verdadeiro cenário da contraposição entre os interesses desenvolvimentistas do homem, e a manutenção e o equilíbrio ambiental suplicantes da natureza.⁵⁷

Assim, a problemática ambiental tornou-se uma temática transfronteiriça, porquanto a proteção ao meio ambiente ultrapassa limites geográficos territoriais e o desenvolvimento sustentável tornou-se premissa de desenvolvimento global. Sendo a crise ambiental compreendida como um conjunto de fatores que afetam o ambiente natural e os ecossistemas, e não apenas uma realidade única de determinado local, região ou país. A crise ambiental trafega em uma escala planetária e isso deve ser abordado em sua plenitude, através de uma perspectiva de governança global.⁵⁸

Nesse sentido, a preocupação com as questões que envolviam o meio ambiente e a proteção ambiental de modo geral, começaram a se evidenciar ao final dos anos 60 do século XX, momento em que a poluição alcançou níveis intoleráveis em países ricos. Assim, se percebeu a incontestável divergência entre o modelo econômico capitalista e a manutenção do equilíbrio ambiental.

Logo, o modelo de desenvolvimento econômico que servia amplamente de

⁵⁷ ANDRADE, Daniel Caixeta; ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Degradação ambiental e teoria econômica: algumas reflexões sobre uma “economia dos ecossistemas”. Revista EconomiA. v. 12, n. 1, p3-26, jan-abr. 2011.

⁵⁸ LIMA, Gabriela Garcia Batista. O conceito de governança global do desenvolvimento sustentável no estudo da efetividade da normal jurídica: reflexões epistemológicas. Nomos – Revista do Programa de Pós-Graduação em Direito da UFC. v. 32.2, jul/dez. 2012.

modelo adotado pelas nações industrializadas e copiado por muitos outros países promoveu um cenário de degradação do meio ambiente até então nunca imaginado. E, o consumismo exagerado concluiu o fomento à produção de resíduos em larga escala, aliado a um crescente índice populacional e de miserabilidade.⁵⁹

Frente à essa realidade, no ano de 1972, foi realizada na cidade de Estocolmo, Suécia, a primeira conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente⁶⁰. Com a participação de 113 (cento e treze) países e organizações não-governamentais, a conferência se tornou referência como marco internacional do direito ambiental, e seus debates foram pautados pelas ações humanas e suas intervenções no meio ambiente que geravam constantes impactos nocivos, e que muitas vezes, eram imensuráveis.⁶¹

Diante desse cenário, pela primeira vez, o meio ambiente recebeu o status de um bem jurídico autônomo, algo que urgia de proteção, independentemente dos interesses do desenvolvimento humano. Assim, ficou estabelecida a necessidade de compatibilização do progresso com a preservação do meio ambiente, e o início do conceito de sustentabilidade, ou desenvolvimento sustentável.⁶²

Ademais, neste momento, a cooperação e o trabalho em conjunto das nações na busca de soluções para os problemas ambientais tomaram uma dimensão internacional, tornando-se uma temática de importância e preocupação mundial em termos de preservação.⁶³

Destarte, no ano de 1983, a ONU indicou a primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, para liderar a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, que tinha por objetivo o aprofundamento das propostas mundiais na área ambiental. E, quatro anos mais tarde, foi apresentado o documento chamado *Nosso Futuro Comum*, mais conhecido como Relatório Brundtland. É por meio deste

⁵⁹ CARVALHO, Edson Ferreira. Meio ambiente como patrimônio da humanidade. Curitiba: Juruá, 2008. p. 137.

⁶⁰ A conferência de Estocolmo propôs a adoção da “Declaração das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano”, composta por 26 princípios e 109 recomendações e um plano de ação que tinha por objetivo a criação de estruturas e mecanismos de coordenação entre as instituições existentes. Bem como também propôs a criação do PNUMA (Programa das Nações Unidas para o meio ambiente), que é um órgão permanente da ONU e iniciou suas atividades em 1973.

⁶¹ OLIVEIRA, Natália Couto; MOREIRA, Paula Gomes. O Brasil e as três conferências das Nações Unidas sobre meio ambiente. História e Economia, v. 9, n. 2, p. 99-116, 2011.

⁶² ROSS, Alana; BECKER, Elsbeth Leia Spode. Educação ambiental e sustentabilidade. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. v. 5, n. 5, p. 857-866. 2012.

⁶³ SOARES, Guido Fernando Silva. Direito internacional do meio ambiente: emergência, obrigações e responsabilidades. São Paulo: Atlas, 2003. p. 46.

documento, criado pela Comissão Brundtland, que se aprimorou a definição clássica e mais difundida de desenvolvimento sustentável.⁶⁴

A partir de então, passou-se a utilizar a expressão desenvolvimento sustentável, com o conceito de “promover a satisfação das necessidades das atuais gerações sem, no entanto, o comprometimento da capacidade das gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades”. Portanto, o desejo de um desenvolvimento sustentável que fosse compatível com o crescimento econômico, tornou-se desafio e objetivo de todas as nações que tentavam estabelecer uma política de consenso que consiga ser integrativa.⁶⁵

Assim, harmonizar a problemática e aparente incompatível relação entre o homem e a natureza passou a ser unicamente possível com a prática de desenvolvimento sustentável, uma vez que o exercício de qualquer atividade econômica, precisou se adaptar a utilização racional dos recursos existentes, o que garantiria não só a sobrevivência do meio, como também o atendimento às necessidades humanas.

Desta feita, a degradação ambiental parou de ser entendida como um mal necessário à obtenção de progresso e desenvolvimento econômico, pois a existência de um meio ambiente sadio e equilibrado podia coadunar com a própria condição necessária à sobrevivência do homem. Logo, a crise de sustentabilidade ambiental, passou a comprometer todos os Estados, demandando a sua cooperação conjunta.

Assim, os efeitos dos impactos negativos provenientes do desgaste ambiental não se limitam unicamente à soberania de um Estado, uma vez que o meio ambiente não reconhece fronteiras geográficas e seus danos são sentidos por todo o planeta. Portanto, uma mudança nos padrões de produção e consumo atuais é essencial para a continuidade da própria vida humana, visto que o uso irracional dos recursos ambientais promove o seu esgotamento.⁶⁶

Nesse contexto, o petróleo, que é conhecido desde os primórdios da civilização, tem a sua origem ligada à decomposição da matéria orgânica decomposta ao longo de milhões de anos, que se acumulou no fundo dos mares e dos lagos, sendo pressionados pelos movimentos da crosta terrestre e se transformando na substância

⁶⁴ JAPIASSÚ, Carlos Eduardo; GUERRA, Isabella Franco. 30 anos do relatório Brundtland: nosso futuro comum e o desenvolvimento sustentável como diretriz constitucional brasileira. *Revista de Direito da Cidade*. v. 9, n. 4, p. 1884-1901, 2017.

⁶⁵ *Ibid.* pags. 1884-1901

⁶⁶ DERANI, Cristiane. p. 246. *loc cit.*

oleosa que é encontrada hoje.⁶⁷

Assim, esse composto passou a ser empregado, comercialmente, a partir do século XVIII, na indústria farmacêutica e na iluminação. Isso promoveu sua utilização em larga escala, como fonte de energia. E, com o advento da indústria petroquímica, os derivados de petróleo e centenas de novos produtos surgiram para a utilização diária e comodidade da vida humana.⁶⁸

O petróleo é ainda um recurso natural abundante, porém a sua pesquisa, exploração e refino envolvem altos custos. Ademais, é a principal fonte de energia utilizada como base para a fabricação de variados produtos, dentre os quais destacam-se: óleo Diesel, gasolina, querosene, alcatrão, insumos para diversas indústrias, polímeros de plástico e até mesmo medicamentos. Bem como é a principal fonte de renda de muitos países, sobretudo no Oriente Médio.⁶⁹

Nessa toada, as atividades da indústria petrolífera como perfuração, produção, transporte, refino e distribuição geram resíduos sólidos perigosos, que inadequadamente dispostos no meio ambiente, podem provocar sérios problemas ambientais. Portanto, uma maior conscientização acerca dos riscos de impactos ambientais através dessas atividades, deve centrar a uma proposta por soluções tecnológicas que objetivem a sua minimização.⁷⁰

Deste modo, ao se analisar a atividade de uma refinaria de petróleo, é fácil observar a capacidade de impactos que suas instalações podem provocar ao meio ambiente, uma vez que o seu processo extrativo e de produção, geram significativas quantidades de resíduos, efluentes e emissões atmosféricas.⁷¹

Dentre os vários subprodutos da atividade petrolífera, as borras oleosas são os resíduos da produção dos oleosos gerados, em maior quantidade, nas refinarias. Possuindo um aspecto pastoso, de coloração escura, característica semissólida, e constituído de areia (mistura de argila, sílica e óxidos) que promovem constantes contaminações na água marinha. Passando a ter então, grande

⁶⁷ BABOROVÁ, Petra, *et al.* Purification of a new manganese peroxidase of the white-rot fungus *Irpex lacteus*, and degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by the enzyme. *Research in Microbiology*. 2006. 157 (3): 248-253.

⁶⁸ PETROBRAS. Centros de Estudos do Petróleo (CEPETRO). Disponível em <https://www.cepetro.unicamp.br/>. Acesso em: 10 nov. 2022.

⁶⁹ CUNHA, Cláudia Duarte; LEITE, Selma Gomes Ferreira. Gasoline biodegradation in different soil microcosms. *Brazilian Journal of Microbiology*. v. 31 (1). Mar, 2000. p. 41-49.

⁷⁰ GARCIA, Katia; LA ROVERE, Emilio Lèbre. *Petróleo: acidentes ambientais e riscos à biodiversidade*. 1 ed., Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

⁷¹ SZKLO, Alexandre Salem; ULLER, Victor Coen. *Fundamentos do Refino de Petróleo: Tecnologia e Economia*. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

importância para a definição de políticas de gestão sustentável das empresas petrolíferas.^{72,73}

Nos primórdios das atividades do refino de petróleo, a manipulação de borras oleosas era realizada de modo totalmente inadequado e sem qualquer preocupação com o meio ambiente. Tais manejos promoviam o descarte desse material em áreas sem o devido tratamento ou impermeabilização, resultando, assim, na contaminação das águas subterrâneas e superficiais. E isso provocou o assoreamento de rios e alto desequilíbrio na fauna e flora aquáticas. Ademais, a contaminação por metais pesados é persistente e pode permanecer por décadas.⁷⁴

Atualmente, o tratamento e gerenciamento de borras oleosas de petroderivados são essenciais à promoção de uma gestão sustentável de exploração e aproveitamento inteligente e sustentável dos recursos naturais. Essas ações incluem alternativas de redução, reutilização e reciclagem, por diversos meios, dentre eles, processos físicos, químicos e biológicos que podem ser usados sequencialmente em série ou alternadamente para reduzir a contaminação ambiental em níveis padronizados e pré-estabelecidos pelos órgãos ambientais. Assim, o gerenciamento dos resíduos de petroderivados envolve as tecnologias disponíveis.⁷⁵

Com a evolução de uma vasta gama de tecnologias aplicáveis às borras oleosas de petroderivados, os custos operacionais e os impactos ambientais das tecnologias passaram a ser bem avaliados com destaque às variáveis importantes para a escolha da tecnologia a ser empenhada. Assim, deve ocorrer a correlação priorizada dos parâmetros mais relevantes acerca da tecnologia a ser usada.⁷⁶

Dentre os subprodutos derivados do petróleo de maior apreço comercial, bem como responsáveis por grande parte dos impactos ambientais verificados, destacam-se o querosene de aviação, também chamado de *jet fuel* ou QAV, e o óleo Diesel, que são responsáveis por altos índices de contaminação terrestres e aquáticas. Possuindo o primeiro uma variada composição, pois depende da fonte e do tipo de

⁷² LADISLAO, Antizar. Environmental levels, toxicity and human exposure to tributyltin (TBT) – contaminated marine environment. A review. *Environment International*. n. 34, p. 292-308, 2008.

⁷³ HEIDARZADEH, Nima.; GITIPOUR, Saeid; ABDOLI, Mohsen. Characterization of oily sludge from a Tehran oil refinery. *Waste Management & Research*. n. 28, p. 921-927, 2010.

⁷⁴ AYOTAMUNO, Josiah, *et al.* Bio-remediation of a sludge containing hydrocarbons. *Applied Energy*. n. 84, p. 936-943, 2007.

⁷⁵ ALSHAMMARI, Jadea, *et al.* Solid waste management in petroleum refineries. *American Journal of Environmental Sciences*. n. 4, p. 353-361, 2008.

⁷⁶ GUSTI, Lorenzo. A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Management*. n. 29, p. 2227-2239, 2009.

tratamento pelo qual é obtido. E caracterizando o segundo, uma mistura derivada da destilação do petróleo bruto, que é usado como combustível nos motores a Diesel.⁷⁷

Portanto, a adequada produção, manipulação e transporte dos petroderivados são uma das grandes preocupações ambientais atuais no que se refere ao impacto nos diversos espaços marinhos, em destaque, não apenas aqueles de maior interação com populações humanas, mas também aqueles com rica biodiversidade.⁷⁸

Diante do exposto, o petróleo desempenha um papel fundamental na história da humanidade, e seus subprodutos transformaram a vida cotidiana e impulsionaram o crescimento econômico. Por outro lado, as atividades da indústria petrolífera geram resíduos sólidos perigosos, cuja eliminação mal gerida pode levar a graves problemas ambientais. Nesse sentido, faz-se urgente uma maior conscientização acerca dos riscos ambientais que estas atividades representam e uma aposta em soluções tecnológicas que visem dirimir os seus impactos negativos.

A exploração da atividade petrolífera, inerentemente, apresenta riscos de acidentes ambientais. Desta forma, os acidentes podem ocorrer no momento na extração em terra (*onshore*), bem como em mar (*offshore*). Assim, os riscos na exploração estão desde a perfuração do solo marítimo, ou através do vazamento dos dutos, acidentes em plataformas e, mais comum, em acidentes com o transporte do petróleo e de seus derivados após o refino.⁷⁹

Convém ressaltar que os danos ocasionados por estes acidentes são imensuráveis e têm o potencial de prejudicar todo o ambiente. Assim, os oceanos já foram palco de diversos, e trágicos, acidentes com derramamento de petróleo no mar, sendo os maiores datados de 1979 a 1992, até o mais “recente” e de maior proporção, o ocorrido no Golfo do México, em 20 de abril de 2010, com a plataforma marítima Deepwater Horizon da BP que explodiu.⁸⁰

⁷⁷ RISER-ROBERTS, Eve. In Situ/On-Site Biodegradation of Refined Oils and Fuels. A Technology Review. Volume 2. Appendix A. Supplementary Text. 1992.

⁷⁸ ANDRADE, Juliano de Almeida; AUGUSTO, Fabio; JARDIM, Isabel Cristina Sales Fontes. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. Eclética química. v. 35, p. 17-43, 2010.

⁷⁹ ASSUNÇÃO, Marcus Vinicius Dantas. O estudo da eficiência ambiental dos campos onshore das bacias costeiras brasileiras na perspectiva da água produzida de petróleo. 2018. 207 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, 2018.

⁸⁰ NUNES, Fernando Custódio, *et al.* Impactos ambientais causados por vazamento de petróleo no Golfo do México. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 1; 2015, Campina Grande, 2015, p. 4-5.

Neste acidente vários estados americanos foram afetados com o derramamento contínuo de petróleo, durando cerca de 87 dias, e que lançou ao mar algo em torno de 4,9 milhões barris de petróleo (aproximadamente 780 milhões de litros), em áreas de preservação ambiental que recebem, anualmente, a migração de três quartos das espécies de aves aquáticas americanas, além de ser um berçário natural para crustáceos, caranguejos, siris, tartarugas e área de desova do atum azul, peixe ameaçado de extinção.⁸¹

Em 1988 houve uma explosão no módulo de compressão de gás da plataforma Piper Alpha, localizada no Mar do Norte. E esta primeira explosão inutilizou as fontes de alimentação principais e a sala de controle principal, causando extensos danos aos equipamentos de processamento de petroderivados.⁸²

Em consequência disso, houve um grande incêndio no módulo de separação de óleo, originando uma nuvem de fumaça negra na extremidade norte da plataforma. As explosões fizeram a estrutura da plataforma colapsar e o duto principal de óleo e os *risers* dos gasodutos foram despedaçados, havendo derramamento deste material no mar e deixando um saldo negativo de 167 mortos com um prejuízo total do acidente de US\$ 3,4 bilhões, além de um custo imensurável ao meio ambiente.

Em março de 1989, o navio petroleiro Exxon Valdez, que transportava 1,263 milhões de barris de óleo bruto, encalhou próximo a Valdez, Alasca. Este acidente não deixou feridos, porém aproximadamente 258 mil barris foram derramados quando 8 tanques de armazenamento se romperam, resultando em danos catastróficos ao ambiente.⁸³

No Brasil, em novembro de 2011, ocorreu um acidente no Campo de Frade, na Bacia de Campos, principal área sedimentar já explorada na costa brasileira, na perfuração de um poço que atingiu um reservatório que estava sobrepresurizado devido à injeção de água feita anteriormente. Nessa ocasião, o petróleo fluiu do reservatório até aproximadamente 700 metros do nível do mar, posteriormente deslocou-se até o leito marinho.⁸⁴

⁸¹ NUNES, Fernando Custódio, *et al. loc cit.*

⁸² MOREIRA, Juliana Fisher Marques; D'ALMEIDA, Albino Lopes. Indústria de Petróleo e Gás: Acidentes relevantes no Mundo. III Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – CONEPETRO. 2018.

⁸³ MOREIRA, Juliana Fisher Marques; D'ALMEIDA, Albino Lopes. *loc cit.*

⁸⁴ BRITO, Allany Cecília Siqueira; CARVALHO, Clara Zafira Oliveira Nunes; BORBA, Claudio. Prevenção de acidentes ambientais em plataformas offshore. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIT-SERGIPE, v. 3, n. 2, p. 105-120, 2016.

A exploração de atividades relacionadas com o petróleo acarreta inerentemente o risco de acidentes ambientais, como já dito, e esses riscos abrangem perfurações no mar, fugas em oleodutos, acidentes em plataformas e, de maneira mais frequente, incidentes durante o transporte de petróleo e seus derivados pós-refinamento. O mundo testemunhou diversos acidentes trágicos com derramamentos de petróleo. Os exemplos citados servem como um lembrete claro das consequências duradouras dos acidentes ambientais na procura de recursos petrolíferos. E tais consequências são imensuráveis, representando uma grave ameaça para ecossistemas inteiros.

Assim, o petróleo tem sido a espinha dorsal da economia global por mais de um século. Ele alimenta indústrias, fornece energia e é a base para uma vasta gama de produtos. Desde o seu descobrimento até os dias atuais, este bem natural transformou a indústria, juntamente com as economias nacionais e internacionais. Sua exploração, que inicialmente era monopolizada pelos Estados Unidos, passou a se expandir globalmente após anos de sua descoberta. Este cenário desembocou, portanto, em implicações geopolíticas em relação ao petróleo, incluindo alianças e conflitos entre países produtores e consumidores.⁸⁵

Por ter se tornado parte fundamental da economia global, acabou afetando significativamente os preços de *commodities*, a estabilidade econômica e o comércio global. Com isso, desempenha papel crítico em relação a preços de energia, custos de produção e inflações e, somado a isso, a dependência do petróleo como fonte principal de energia carrega consigo o potencial de vulnerabilizar as economias e, no pior dos casos, interrupções em seu fornecimento. A Organização dos Países Exportadores de Petróleo – OPEP estima que o petróleo representa cerca de 34% do consumo global de energia, fazendo dele a principal fonte de energia do mundo. Além disso, desempenha um papel fundamental nos setores de transporte, manufatura e química.⁸⁶

No que se refere ao transporte, este depende principalmente de combustíveis derivados do petróleo, tais como gasolina e diesel. O aumento dos preços do petróleo durante o choque ocorrido por volta de 2007 a 2008 gerou um

⁸⁵ YERGIN, Daniel. *The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power*. New York: Simon & Schuster, 1991.

⁸⁶ HAMILTON, James. *Causes and Consequences of the Oil Shock of 2007-08*. Brookings Papers on Economic Activity, Spring 2009.

impacto direto nos custos operacionais das empresas de transporte. O resultado disso tem o condão de elevar os custos para o consumidor final, incluindo maiores tarifas aéreas e de taxas de frete, o que levou à redução de muitos consumidores no setor de atividades de transporte de passageiros.

No setor manufatureiro também há significativa dependência do petróleo, uma vez que não somente se utiliza dele como fonte de energia, mas também na matéria-prima para a produção de plásticos e químicos. A majoração dos preços petrolíferos desembocou em impacto direto no custeamento de produção das empresas manufatureiras, trazendo desafios para o setor, especialmente no que tange às pressões inflacionárias enfrentadas pelas empresas refletidas nos custos de produção.⁸⁷

Da mesma forma, o setor químico é também intensivamente dependente de produtos derivados de petróleo, tais como plásticos, polímeros, produtos químicos básicos, dentre outros. Muitos desses produtos finais são obtidos através de matérias-primas petroquímicas e o setor sofreu impactos decorrentes do aumento do seu preço e das pressões inflacionárias.⁸⁸

É notável que os preços do petróleo e seus derivados atingiram recordes históricos e, considerando o crescimento econômico mundial, a perspectiva de declínio sensível nos próximos anos ainda é mínima. Diante de um cenário como este, somente o desenvolvimento de novas tecnologias, a adoção mais intensiva de fontes alternativas de energia e a descoberta de novas áreas a serem exploradas permitiriam compatibilizar oferta e demanda mais equilibrada, mesmo com preços crescentes nas próximas décadas.⁸⁹

Decerto, o ambiente de investimentos na indústria petroleira envolve desafios importantes no campo tecnológico, pautados pela perspectiva de manutenção de preços elevados, aumento da segurança nas atividades relacionadas à exploração e produção em reservas de petróleo não convencionais, bem como crescimento das pressões para a utilização de técnicas que levem à produção de

⁸⁷ MARCONI, Nelson; ROCHA, Marcos. Insumos importados e evolução do setor manufatureiro no Brasil. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea, 2012. 65 p.

⁸⁸ MACHADO, Eduardo Luiz. Economia de baixo carbono: avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas. São Paulo: Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono, 2012. 105 p.

⁸⁹ PEREIRA, Elenildes Santana; SILVA, Joaquim Ramos; MAIA, Sinézio Fernandes. Os efeitos da taxa de câmbio e dos Preços do Petróleo nos preços Internacionais das Commodities Brasileiras. Revista Econômica do Nordeste. v. 48, n. 1, p. 131-144, 2017.

derivados mais limpos.⁹⁰

A dependência mundial desta indústria como principal fonte de energia expõe tais economias a uma potencial vulnerabilidade, exigindo esforços para diversificar as fontes de energia e investir em novas tecnologias. Nesse ínterim, o petróleo desempenha um papel central na economia global, influenciando os preços das matérias-primas, a estabilidade econômica, o comércio e a inflação. No futuro, o equilíbrio entre a oferta e a procura de petróleo dependerá da exploração de novas reservas e da adoção de fontes alternativas de energia.⁹¹

O petróleo, embora vital para muitos setores, tem implicações significativas para as mudanças climáticas e a degradação ambiental. Com o *boom* da indústria petrolífera, esta foi rapidamente seguida por uma corrida para produzir o máximo de petróleo possível, muitas vezes danificando reservatórios e causando esgotamento prematuro. Esta corrida pela produção abundante resultou na falta de conhecimento geológico, do fascínio por recompensas rápidas e de termos de arrendamento que incentivaram a produção rápida.⁹²

Apesar de seus benefícios econômicos, a extração e o consumo de petróleo têm consequências ambientais significativas, principalmente no que tange às mudanças climáticas. O dióxido de carbono (CO₂) resultante da combustão do petróleo é um dos principais contribuintes para as mudanças climáticas.⁹³

Prevê-se que as emissões desse composto relacionadas com o consumo de combustíveis líquidos aumentem até o ano de 2030, a uma taxa média anual de 1,7% para o Brasil, 0,97% para a Rússia, 2,8% para a Índia, 3,5% para a China e 0,23% para os Estados Unidos. A maior taxa de crescimento nas emissões de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas com o petróleo vem da China, impulsionada pela crescente procura de combustíveis líquidos para os transportes e a indústria.⁹⁴

A taxa de crescimento do consumo de combustíveis líquidos está

⁹⁰ JAFELICE, Domingos. A eterna crise global provocada pelo preço do petróleo. *Polímeros*, São Paulo, v. 10, n. 4, p. 4-5, dez. 2000.

⁹¹ PEREIRA, Elenildes Santana; SILVA, Joaquim Ramos; MAIA, Sinézio Fernandes. *loc cit.*

⁹² *Idid.*

⁹³ PACHAURI, Rajendra; ALLEN, Myles; BARROS, Vicente; BROOME, John; CRAMER, Wolfgang; CHRIST, Renate; CHURCH, John; CLARCK, Leon. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 2014.*

⁹⁴ FURINI FILHO, Roberto. *As Empresas de Petróleo e as Mudanças Climáticas: uma avaliação das ações da Petrobras. 2009. 343 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.*

fortemente correlacionada com a taxa de crescimento das emissões de dióxido de carbono. Esta correlação indica que o crescimento das emissões está de fato a par do crescimento do consumo e, até o período considerado, nenhuma tecnologia ou política de emissões permitiria simultaneamente aumentar o consumo e reduzir ou estabilizar as emissões.

Além do aumento da emissão de dióxido de carbono, há também outros fatores prejudiciais ao meio ambiente, como é o caso de acidentes causados por derramamento de petróleo, que demonstram os riscos ambientais associados à sua extração, como já discutido. E nesse ponto cabe ressaltar o exemplo, já citado, do acidente do Deepwater Horizon, de 2010, caracterizado como um desastre ambiental de imensa magnitude, que colapsou a plataforma de perfuração de petróleo no Golfo do México, e resultou em intenso vazamento de óleo no mar. Este fato, além dos danos ambientais imensuráveis, afetou profundamente o ecossistema marinho, fauna, flora, bem como incidiu diretamente na economia das áreas costeiras atingidas, além de ter provocado a morte e ferimento de vários trabalhadores do local.^{95,96}

Do ponto de vista ambiental, eventos como este acabam resultando em preocupações legítimas acerca da saúde do ambiente marinho, uma vez que a poluição da água, de sedimentos causam prejuízos aos ecossistemas costeiros. Ademais, os compostos químicos encontrados no petróleo, principalmente os hidrocarbonetos e metais pesados, têm potencial de permanecer no ambiente durante longos períodos de tempo, afetando de maneira negativa a qualidade da água e a vida marinha.⁹⁷

Destarte, a decomposição do petróleo no mar pode findar na produção espontânea de subprodutos tóxicos, como é o exemplo dos polímeros e compostos oxigenados, que também impactam de maneira nociva a flora e a fauna aquáticas. Somado a isso, a liberação de produtos químicos usados na contenção do derrame

⁹⁵ McNUTT, Marcia; CAMILLI, Rich; CRONE, Timothy; GUTHRIE, George; HSIEH, Paul; RYERSON, Thomas; SAVAS, Omer; SHAFFER, Frank. Review of Flow Rate Estimates of the Deepwater Horizon Oil Spill. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(50), 2012, pp. 20260-20267.

⁹⁶ PEREIRA, Rogério Ferreira; MORGADO, Claudia do Rosário Vaz; CARVALHO, Paulo Victor Rodrigues; SANTOS, Issac José Antônio Luqyetti. Pensamento sistêmico e engenharia de resiliência aplicados à segurança de processos de exploração e produção de petróleo: estudo de caso deepwater horizon. *Revista Brasileira de Ergonomia: Ação ergonômica*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 153-162, 2015.

⁹⁷ FIGUEIREDO, Marcelo Gonçalves; ALVAREZ, Denise; ROTENBERG, Lúcia; ADAMS, Ricardo Nunes. The Deepwater Horizon oil rig accident, 12 years later: analysis focusing on the collective dimension of work and the organizational factors. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 38, n. 12, p. 1-16, 2022.

de petróleo, como os dispersantes químicos, pode também introduzir substâncias adicionais no ambiente, desembocando em efeitos ainda desconhecidos a longo prazo.⁹⁸

Os impactos e prejuízos biológicos no ambiente são de mesma forma preocupantes, uma vez que o petróleo é capaz de afetar a vida marinha em todas as etapas da cadeia alimentar. A exposição a substâncias tóxicas contidas no petróleo pode danificar os sistemas orgânicos dos seres vivos desses locais, ocasionando uma mortalidade em massa. Além disso, a existência de resíduos de óleo pode interferir no crescimento, reprodução e sobrevivência de espécies variadas, repercutindo negativamente na vida marinha.⁹⁹

No que tange às preocupações com o ar, a combustão de petróleo em transportes também contribui para a poluição atmosférica, bem como para o desenvolvimento de problemas de saúde associados a esta poluição. A queima de petróleo para produção de energia é uma das principais fontes de emissões de gases de efeito estufa, contribuindo com diversas mudanças climáticas em nível global.¹⁰⁰

A poluição do ar advém de qualquer poluição sólida, líquida ou gasosa produzida por substâncias que estão presentes na atmosfera em dada concentração e que tenham potencial de ser prejudiciais aos seres humanos, outros seres vivos e ao meio ambiente. Esse tipo de poluição é considerado um dos principais problemas ambientais, afetando a saúde das pessoas nos países em desenvolvimento e nos países desenvolvidos.¹⁰¹

A saúde humana pode apresentar impactos negativos devido à poluição do ar, manifestando-se em múltiplos órgãos, especialmente no que se refere ao sistema respiratório, pois se encontra diretamente exposto a poluentes do ar no ambiente. Esse, por sua vez, está mais suscetível e mais vulnerável a poluentes.¹⁰²

⁹⁸ SANTOS, Patrícia Vieira. Impactos ambientais causados pela perfuração em busca do petróleo. Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE, v. 1, n. 1, p. 153–163, 2012.

⁹⁹ OSTRENSKI NETO, Antônio; CHAVES, Paulo de Tarso; GUIMARÃES, Ana Tereza Bittencourt. Monitoramento ictiofaunístico pós-derramamento de óleo nos Rios Barigui e Iguaçu. In: UN-REPAR/PETROBRÁS, 2001. 2º Seminário do Rio Iguaçu. Araucária, p. 32–52, 2001.

¹⁰⁰ LELIEVELD, Jos; EVANS, João; GIANNADAKI, Despina; POZZER, Andréa. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525(7569), 2015, pp. 367–371.

¹⁰¹ SINGH, Anuj Raj; NISHAD, Shiv Narayan; KUMAR, Naresh. Capturing Evolution of Research Trends in Air Pollutants and its Health Impact: a bibliometric approach. *Journal Of Scientometric Research*, v. 11, n. 2, p. 226–234, 13 set. 2022.

¹⁰² LOXHAM, Matthew; DAVIES, Donna e; HOLLGATE, Stephen T. The health effects of fine particulate air pollution. *Bmj*, 367, 27 nov. 2019.

A poluição do ar tem sido um fator importante no fardo de doenças respiratórias, apresentando complicações maiores quando associadas a outras comorbidades. Estas doenças representam um peso significativo aos recursos globais de saúde, com os países em desenvolvimento necessitando enfrentar, a cada dia, desafios ainda maiores.¹⁰³

As emissões provenientes do petróleo liberam uma vasta diversidade de substâncias nocivas na atmosfera, que não só agravam a poluição atmosférica, mas também contribuem para a formação de resíduos terrestres. Nesse contexto, estimativas apontam que a redução significativa de poluentes tem o potencial de evitar novos surgimentos e agravos de doenças relacionadas à má qualidade do ar, sendo capaz de salvar inúmeras vidas humanas anualmente.¹⁰⁴

Logo, percebe-se a importância da redução de poluentes derivados do petróleo, tanto no contexto ambiental, quanto para a saúde pública. Assim, a mitigação dos poluentes relacionados com o petróleo representa um imperativo crítico para salvaguardar o bem-estar dos organismos vivos e do ambiente.

3.1 O Plano Nacional de Contingência e a Política Nacional do Meio Ambiente

Toda essa crescente preocupação com a sustentabilidade e a conservação ambiental, em nível global, afeta diretamente as ações e propostas programáticas no Brasil. Desta forma, o legislador nacional propôs a adoção de várias políticas e planos estratégicos. Entre elas, a edição da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), estabelecida pela Lei nº 6.938/81¹⁰⁵, e o Plano Nacional de Contingência (PNC), criado pelo Decreto nº 8.127/2013¹⁰⁶, destacando-se pela sua notável relevância.

No que se refere ao PNMA, este é considerado como a pedra angular da legislação ambiental brasileira, pois estabelece os objetivos, instrumentos e diretrizes para a promoção do desenvolvimento sustentável no Brasil e visa à compatibilidade entre as atividades socioeconômicas e a proteção da qualidade ambiental e do

¹⁰³ MARCO, Cristhian Magnus. O direito fundamental à cidade sustentável e os desafios de sua eficácia. 2012. 390 f. Tese (Doutorado) – Curso de Direito, Programa de Pós-Graduação em Direito, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUC/RS, RS, 2012

¹⁰⁴ ZHANG, Lianghui; HAIDER, Syed; KWON, Sophia; NOLAN Anna. Air Pollution and Lung Function Loss: the importance of metabolic syndrome. National Library Of Medicine, v. 3, n. 2, p. 1043, jun. 2016.

¹⁰⁵ BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. *Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.*

¹⁰⁶ BRASIL. Decreto nº 8.127, de 22 de outubro de 2013. *Dispõe sobre o Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional.*

equilíbrio ecológico.¹⁰⁷

Esta política regula o programa ambiental nacional, os objetivos e mecanismos de formulação e implementação, bem como outras medidas. A política ambiental nacional visa preservar, melhorar e restaurar a qualidade ambiental benéfica à vida, garantir no país as condições para o desenvolvimento socioeconômico, os interesses de segurança nacional e proteger a dignidade humana.¹⁰⁸

Nesse sentido, a PNMA tem como objetivos compatibilizar o desenvolvimento econômico e social com a conservação da qualidade ambiental e do equilíbrio ecológico; identificar áreas prioritárias de atuação governamental relacionadas à qualidade e ao equilíbrio ecológico levando em consideração os interesses da União, dos Estados, dos Distritos Federais, dos Territórios e dos Municípios; desenvolver indicadores de qualidade ambiental, padrões e regulamentos relacionados ao uso e gestão de recursos ambientais; desenvolver pesquisa e tecnologia nacionais para utilizar adequadamente os recursos ambientais; popularizar as tecnologias de gestão ambiental, divulgar dados e informações ambientais, bem como sensibilizar o público acerca da necessidade de proteger a qualidade ambiental e o equilíbrio ecológico; conservar e restaurar os recursos ambientais para uso razoável e disponibilidade a longo prazo, contribuindo na manutenção de um equilíbrio ecológico benéfico à vida; a imposição, aos poluidores e aos causadores de danos, de uma obrigação de restaurar e/ou compensar os danos causados e, aos utilizadores, de contribuir para a utilização econômica dos recursos ambientais internacionais.

Fazem parte dos princípios norteadores da PNMA as ações governamentais na manutenção do equilíbrio ecológico; o estabelecimento de uso racional de solos, subsolos, água e ar; o trabalho de fiscalização e planejamento da utilização de recursos ambientais; o trabalho protetivo de ecossistemas, preservando áreas representativas; o controle e zoneamento de condutas que sejam potenciais ou efetivamente poluidoras; incentivos a pesquisas de tecnologias focadas no uso racional e na proteção de recursos ambientais; o acompanhamento do estado de qualidade do meio ambiente; a proteção de áreas ameaçadas de degradação, bem

¹⁰⁷ FONTENELLE, Miriam. Aspectos da política nacional do meio ambiente: o estudo de impacto ambiental como instrumento preventivo da gestão ambiental. Revista da Faculdade de Direito de Campos, v. 5, n. 5, p. 271-302, 2004.

¹⁰⁸ *Ibid.*

como a recuperação de áreas já degradadas; o papel na educação ambiental em todos os níveis de ensino, incluindo a educação da comunidade, tendo como objetivo principal mantê-la capacitada para uma participação mais ativa e efetiva em defesa ao meio ambiente.¹⁰⁹

Dentre seus instrumentos, destacam-se o estabelecimento de uma padronização em relação à qualidade ambiental; o zoneamento ambiental; o trabalho avaliativo de impactos ao meio ambiente; o licenciamento e revisão de condutas que são efetiva ou potencialmente poluidoras; incentivos para criar, produzir e instalar equipamentos tecnológicos visando a melhoria da qualidade ambiental; a criação de territórios protegidos pelo poder público em suas três esferas de governo, incluindo áreas de proteção ambiental, de interesse ecológico relevante e reservas extrativistas; o sistema informativo nacional sobre o meio ambiente; o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental; as penalidades disciplinares e/ou compensatórias ao não cumprimento das medidas de preservação ou ações corretivas da degradação ambiental; a formulação de um Relatório de Qualidade do Meio Ambiente, com divulgações anuais atribuídas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA; assegurar a prestação de informações sobre o Meio Ambiente, sendo obrigatório a produção realizada pelo Poder Público, quando de sua inexistência; o Cadastro Técnico Federal de atividades utilizadoras dos recursos ambientais e/ou potencialmente poluidoras; o estabelecimento de instrumentos econômicos, tais sejam de concessão florestal, servidão ambiental, seguro ambiental ou outros.

A PNMA é um pilar para a promoção do desenvolvimento sustentável no Brasil, buscando equilibrar o crescimento econômico com a conservação ambiental.⁸⁹ Essa política, na vanguarda da regulação sistemática da proteção ambiental no Brasil, regulamenta a aplicação de instrumentos jurídico-econômicos que visam orientar os atores econômicos para a adoção de práticas mais adequadas às restrições e aos ecossistemas.¹¹⁰

Pode-se afirmar, portanto, que a PNMA possui os alicerces de uma política econômica mais ambientalmente correta, numa decisão partilhada com a sociedade.

¹⁰⁹ FONTENELLE, Miriam. *loc cit.*

¹¹⁰ DERANI, Cristiane; SOUZA, Kelly Schaper Soriano. Instrumentos econômicos na política nacional do meio ambiente: por uma economia ecológica. *Veredas do Direito*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 19, p. 247-272, jun. 2013.

Isso porque o respeito ao ambiente está intimamente ligado às atividades econômicas, de acordo com a lei e, dessa forma, a economia deve acompanhar o ecossistema.¹¹¹

Na visão prática da PNMA, a água é um bem essencial à saúde, a biodiversidade terrestre e aquática, bem como aos valores estéticos, culturais e espirituais das pessoas. Pensando nisso, é necessário compreender os recursos ambientais que compõem o meio ambiente. Dessa forma, esta política propôs uma mudança de perspectiva na medida em que as observações gerais nas suas primeiras disposições revolucionaram a lei e, assim, procuraram revolucionar a prática.

Esta ideia também está claramente expressa no documento constitucional, que garante a todos o direito a um ambiente ecologicamente equilibrado, essencial para uma qualidade de vida saudável, bem como a responsabilidade na conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição.⁹¹ Em um contexto geral, a PNMA e a Constituição nela inspirada fornecem a principal orientação para a reconstrução de práticas econômicas em que os recursos naturais devem ser compreendidos no seu contexto ecológico.¹¹²

Assim, surgem ferramentas econômicas legais na PNMA como opção para gerir bens e serviços naturais com linguagem compatível com a lógica econômica, compreendendo-as de acordo com sua utilidade. Com o estabelecimento dessa política, as noções que compõem o desenvolvimento sustentável passaram a ter importância fundamental para as compreensões acerca do futuro do planeta, tornando evidente a necessidade de assegurar de maneira igualitária e equilibrada o crescimento econômico e a proteção do meio ambiente. Noções de indústria limpa, agricultura e consumo sustentável passaram então a fazer parte desse caminho a ser trilhado.¹¹³

No que se refere ao Plano Nacional de Contingência, este foi estabelecido como uma resposta coordenada a incidentes de poluição por óleo no mar. Ele delinea as responsabilidades e ações a serem tomadas em caso de derramamentos significativos de petróleo, garantindo uma resposta rápida e eficaz para minimizar os

¹¹¹ CAVALCANTI, Clovis. Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas. 2. ed. São Paulo: Cortez; Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 1999.

¹¹² RIOS, Aurélio Virgílio Veiga; IRIGARAY, Carlos Teodoro Huguene (org.). O direito e o desenvolvimento sustentável. São Paulo: Peirópolis, 2005. 352 p.

¹¹³ GIASSON, Moara Menta. A compensação ambiental e os instrumentos da política nacional de meio ambiente. 2015. 112 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015.

impactos ambientais.¹¹⁴

Este plano delimita responsabilidades, realiza o estabelecimento organizacional de sua estrutura e determina diretrizes e procedimentos, com o intuito de garantir uma atuação coordenada de órgãos públicos administrativos e entidades públicas e privadas para ampliar o potencial de respostas em incidentes de poluição por óleo que possam contaminar águas sob jurisdição nacional e, desta forma, dirimir danos ao meio ambiente e evitar prejuízos no campo da saúde pública.

Assim, o PNC delinea a resposta coordenada a incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, tendo como principal objetivo garantir agilidade e efetividade em circunstâncias emergenciais, amenizando os impactos ambientais oriundos dos derramamentos significativos de petróleo.

O PNC prevê a coordenação entre diferentes órgãos e entidades, incluindo os órgãos ambientais, a Marinha e as entidades de defesa civil, para uma ação integrada em emergências e, além de definir a resposta a incidentes, o também enfatiza a importância da prevenção, incentivando práticas e tecnologias de redutibilidade aos riscos de derramamentos.

Nesse sentido, esse plano, embora tenha como enfoque contingências específicas, complementa os objetivos da PNMA, demonstrando a importância de estratégias coordenadas para responder a emergências e promover a sustentabilidade. A resposta efetiva a emergências ambientais é crucial para manter a integridade dos ecossistemas e promover a sustentabilidade, conforme delineado pela PNMA.¹¹⁵

Ambos os instrumentos, PNMA e PNC, enfrentam desafios em sua implementação, especialmente em um país de dimensões continentais como o Brasil. A eficácia de suas ações depende da integração entre os diferentes níveis de governo e da participação ativa da sociedade. Por outro lado, a integração e coordenação entre o PNC e a PNMA são essenciais para garantir uma resposta eficaz a crises ambientais e promover um desenvolvimento verdadeiramente sustentável no Brasil.

Em suma, a PNMA e o PNC representam componentes críticos do compromisso com a proteção ambiental e a resposta a demandas emergentes. Estes dois instrumentos políticos, quando há a devida implementação e integração,

¹¹⁴ RODRIGUES, Ivo Miguel Lima. Plano Nacional de Contingência para o Combate à Poluição do Mar. 2017. 180 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciências do Mar, Escola Naval, Alfeite, 2017.

¹¹⁵ DERANI, Cristiane; SOUZA, Kelly Schaper Soriano. p. 247-272. *loc cit.*

deduzem de esforços de uma nação preocupada com a gestão ambiental, se preparando para cenários complexos e buscando alcançar um futuro com maior sustentabilidade e resiliência neste campo.

3.2 A biotecnologia nos processos de descontaminação

A primeira definição de biotecnologia foi descrita como uma ciência e métodos que permitem a obtenção de produtos a partir de matéria-prima, mediante intervenção de organismos vivos. Tendo isso em vista, a compreensão dos fenômenos naturais torna-se indispensável para responder às necessidades da sociedade. Atualmente a biotecnologia abrange uma área ampla do conhecimento que decorre das ciências básica, aplicada e de outras tecnologias. Trata-se, portanto, de uma rede complexa de conhecimentos onde ciência e tecnologia são entrelaçadas e complementares.¹¹⁶

Com o rápido ritmo de descobertas no campo da biotecnologia moderna, os debates públicos tomaram notoriedade em meio à sociedade, dividindo opiniões em relação aos seus benefícios e as soluções para alguns dos problemas da humanidade, especialmente àqueles que despertam medo e dúvidas sobre como funcionam as técnicas biotecnológicas, devido a questões ambientais, éticas, políticas, econômicas e sociais.¹¹⁷

Além disso, o surpreendente progresso da genética e a crescente necessidade de tomada de decisão colocaram o ensino desta temática em posição de destaque, com implicações importantes para diversos segmentos. Somado a isso, os meios de comunicação contemporâneos estão ganhando influência significativa para este campo.¹¹⁸

Destarte, dentro do campo da biotecnologia existe um processo chamado de biorremediação, em que organismos vivos, geralmente plantas ou microrganismos, são tecnologicamente usados para realizar o tratamento por meio da remoção ou redução de poluentes no meio ambiente. Este é, portanto, um método que utiliza

¹¹⁶ MALAJOVICH, Maria Antonia. Biotecnologia. Rio de Janeiro: Biblioteca Max Feffer, 2012. 320 p.

¹¹⁷ PEREIRA, José Santos Saraiva. Prospecção e caracterização de isolados microbianos para a biorremediação de ambientes marinhos contaminados por petróleo e misturas de óleo Diesel/Biodiesel. 2018. 197 f. Tese (Doutorado) – Curso de Biologia Celular e Molecular, Programa de Pós-Graduação em Biologia Celular e Molecular, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS, RS, 2018.

¹¹⁸ *Ibid.*

organismos vivos para remover ou neutralizar poluentes de um ambiente contaminado, degradando ou transformando contaminantes em compostos menos tóxicos ou não tóxicos.¹¹⁹ Este processo de descontaminação biotecnológica tem sido amplamente pesquisado e recomendado pela comunidade científica atual como uma alternativa viável à remediação ambiental onde há locais contaminados, como solos, águas superficiais e subterrâneas.¹²⁰

Os microrganismos são formados, em sua maioria, por uma única célula, que se desenvolvem isoladamente ou em colônias, não sendo possível vê-los a olho nu, apenas com o auxílio de instrumentos como o microscópio. Estes organismos vivos podem ser encontrados em quase todos os ambientes e sistemas conhecidos, assim, estão distribuídos por todo o planeta. E, em seu processo evolutivo, adaptaram-se de modo eficiente que os tornou capazes de sobreviver em circunstâncias extremas às adversidades climáticas, sobrevivendo uma vantagem quando comparados aos demais seres.¹²¹

Isso posto, percebe-se então a relevância de sua origem e o modo adaptativo no qual são capazes de sobreviver às mais variadas intempéries ambientais em que são inseridos, desde ambientes considerados hostis, com temperaturas e pressões elevadas, até em ambientes tranquilos e límpidos, como fundos de rios e lagos. Dessa forma, fica evidente a facilidade que os microrganismos têm de se originar em determinados meios, assim como sobreviver a estes, inclusive, modificando-os através de suas atividades metabólicas.¹²²

Na biorremediação, utiliza-se o metabolismo microbiano na presença de condições ambientais ideais e nutrientes suficientes para decompor contaminantes, como os hidrocarbonetos de petróleo, por exemplo. Embora outras tecnologias utilizem processos físicos e/ou químicos também indicados para a descontaminação de ecossistemas poluídos, o processo de biorremediação é considerado a alternativa mais ecologicamente adequada e efetiva para o tratamento de ambientes poluídos, principalmente quando se considera que a poluição advém de petroderivados

¹¹⁹ ATLAS, Ronald; PHILP, Jim. Bioremediation: Applied microbial solutions for real-world environmental cleanup. ASM Press, 2005.

¹²⁰ GAYLARDE, Christine Claire; BELLINASSO, Maria de Lourdes; MANFIO, Gilson Paulo. Biorremediação. Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento, v. 34, p. 36-43, 2005.

¹²¹ MORAIS FILHO, Manuel Capristânio; CORIOLANO, Ana Catarina Fernandes. Biorremediação, uma alternativa na utilização em áreas degradadas pela indústria petrolífera. Holos, v. 7, p. 133-150, 2016.

¹²² PEREIRA, José Santos Saraiva. *loc cit.*

persistentes e metais tóxicos.¹²³

Desde a década de 1980 o uso da técnica de biorremediação em derramamentos de petróleo e outras substâncias perigosas residuais receberam maior notoriedade. Este processo de desintoxicação tem como alvo os efeitos nocivos causados por produtos químicos de mineralização, transformando-os ou alterando-os, para torná-los menos nocivos. Assim, durante séculos, as civilizações usaram a biorremediação natural no tratamento de águas residuais, mas o uso intencional para a redução de resíduos perigosos é um desenvolvimento mais recente.¹²⁴

A biorremediação pode ocorrer *in situ* (no local de contaminação) ou *ex situ* (fora do local, geralmente em biorreatores). Na biorremediação *in situ*, a técnica se utiliza de processos que vão da inserção de oxigênio e nutrientes até a adição de organismos específicos para cada tipo de contaminante. Desta maneira, não é realizado o uso da remoção de material contaminado, poupando custos e perturbações ambientais do solo. Os produtos finais de uma biorremediação eficaz são a água e o dióxido carbônico.¹²⁵

No processo de biorremediação *ex situ*, em solos contaminados pela atividade petrolífera, por exemplo, a técnica de biorremediação pode ser composta por vários processos que fazem uso de unidades móveis e estações fixas de tratamento, a fim de promover a descontaminação do ambiente. Estes processos possibilitam resultados mais ágeis devido a um maior controle de níveis de temperatura, presença de oxigênio, nutrientes e pH. Além disso, também demonstram maior versatilidade para o tratamento de um amplo número de contaminantes e tipos de solo. No entanto, estes requerem um trabalho de escavação e a remoção do solo contaminado para outro local, o que acaba elevando os custos do tratamento.

A fitorremediação é uma subcategoria da biorremediação que utiliza plantas para absorver, transferir, estabilizar e/ou degradar contaminantes. As pesquisas nessa área buscam compreender a interação das plantas com os contaminantes. Como vantagens dessa técnica, pondera-se o baixo custo do investimento e da operação,

¹²³ PEREIRA, Aline Ramalho Brandão; FREITAS, Diego Antônio França. Uso de micro-organismos para a biorremediação de ambientes impactados. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 6, n. 6, p. 995-1006, 2012.

¹²⁴ ADAMS, Godleads Omokhagbor; FUFYIN, Prekeyi Tawari; OKORO, Samson Eruke; EHINOMEN, Igelenyah. Bioremediation, biostimulation and bioaugmentation: a review. International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation. v. 3, n. 1, p. 28-39, 2015.

¹²⁵ MACEK, Tomas; MACKOVA, Martina, KAS, Jan. Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation. Biotechnology Advances, v. 18, n. 1, p. 23-34, 2000.

sua aplicabilidade local, e geração mínima de degradação e desestabilização da área a ser descontaminada. Já suas limitações estão relacionadas ao clima, tipo de solo, estação do ano, concentração, profundidade do contaminante e a interferência do contaminante no crescimento da planta, aumentando o tempo necessário para o processo de descontaminação. Diante disso, os resultados da fitorremediação não são imediatos, podendo levar até anos para que o efeito esperado seja alcançado. Dessa forma, tal processo pode ser desaconselhado em situações que precisam de uma resposta mais célere.¹²⁶

A adição de nutrientes ao ambiente contaminado para estimular a atividade de microrganismos indígenas é chamada de bioestimulação. Esta é uma técnica usual que visa aumentar a atividade microbiana da população nativa do solo pela adição de nutrientes, podendo então acelerar a remediação dos compostos tóxicos. A bioestimulação pode ser usada como uma ferramenta extra no auxílio do tratamento de solos contaminados com petróleo. Contudo, faz-se necessário que seja realizado um estudo preliminar de todas as possíveis fontes de nutrientes e de suas melhores relações, a fim de proporcionar o favorecimento da biodegradabilidade do petróleo no solo, uma vez que cada ambiente apresenta características próprias e distintas.^{127,128}

Uma outra técnica que vale ser mencionada é a bioaugmentação, a qual envolve a introdução de microrganismos específicos (geralmente geneticamente modificados) no ambiente contaminado para melhorar a biorremediação. Suas dificuldades decorrem, entre outras coisas, da diversidade dos microrganismos utilizados, da heterogeneidade ambiental e das variações na influência de parâmetros críticos que, infelizmente, nem sempre são identificados.¹²⁹

Nem todos os poluentes são facilmente degradáveis, uma vez que a sua natureza recalcitrante dificulta frequentemente os métodos convencionais de biorremediação. Desse modo, a biorremediação como uma abordagem ambientalmente sustentável, apresenta maior eficácia quando empregada para a

¹²⁶ VASCONCELLOS, Maria Cristina; PAGLIUSO, Débora; SOTOMAIOR, Vanessa Santos. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. *Estudos de Biologia: Ambiente e Diversidade*, v. 83, p. 261-267, 2012.

¹²⁷ SINGH, Brajesh; WALKER, Allan; MORGAN, Alun; WRIGHT, Denis. Effects of soil pH on the biodegradation of chlorpyrifos and isolation of a chlorpyrifos-degrading bacterium. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 72, n. 8, p. 5198-5206, 2006.

¹²⁸ BAPTISTA, Sandro; CAMMAROTA, Magali Christe; FREIRE, Denise. Avaliação da bioestimulação em solos argilosos contaminados com petróleo. In: Congresso Brasileiro de PandD em Petróleo and Gás. 2003. p. 267.

¹²⁹ VOGEL, Timothy. Bioaugmentation as a soil bioremediation approach. *Current opinion in biotechnology*, v. 7, n. 3, p. 311-316, 1996.

remediação de poluentes biodegradáveis, como é o caso dos hidrocarbonetos de petróleo. Esta estratégia de remediação de base biológica aproveita as atividades metabólicas dos microrganismos para transformar e mitigar o impacto ambiental dos poluentes, oferecendo um caminho favorável para a restauração de ecossistemas que foram contaminados, bem como proporcionando a redutibilidade da pegada ecológica da poluição humana.¹³⁰

Isso posto, pode-se afirmar que as técnicas de biorremediação constituem alternativas adequadas no que se refere à descontaminação de ambientes contaminados. Apresentando na maior parte das vezes, por sua vez, um baixo custo de implementação e menores riscos ao ambiente do que quando comparada a técnicas de limpeza que envolvem processos físicos e químicos. Porém, para que este processo seja bem-sucedido, é imperioso que as técnicas utilizadas tenham a presença de microrganismos com capacidade fisiológica e metabólica adequadas para degradar os poluentes do local, somado a fatores físico-químicos ambientais que favoreçam a sua atividade.¹³¹

Os metais pesados estão presentes em concentrações elevadas em locais rochosos, áreas com adição de rejeitos industriais e em alguns agroquímicos. Estes podem ser altamente reativos e bio-acumulativos para alguns organismos, ou seja, dificultando ou até mesmo incapacitando sua eliminação. No entanto, certos microrganismos são capazes de facilitar a precipitação de metais pesados do ambiente, tornando-os, conseqüentemente, menos biodisponíveis e reduzindo assim o seu impacto toxicológico.¹³²

Este fenômeno de origem microbiana sublinha a importância do ciclo biogeoquímico na dinâmica da contaminação por metais pesados nos ecossistemas, oferecendo um caminho possível para o desenvolvimento de estratégias de biorremediação destinadas a melhorar ambientes contaminados por metais e, ao mesmo tempo, dirimir riscos ecológicos associados à exposição a metais pesados.¹³³

¹³⁰ DAS, Nilanjana, CHANDRAN, Preethy. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview. *Biotechnology Research International*, v. 11 (1). Set, 2011.

¹³¹ TONINI, Rita Maria Costa Wetler; DE REZENDE, Carlos Eduardo; GRATIVOL, Adriana Daudt. Degradação e biorremediação de compostos do petróleo por bactérias: revisão. *Oecologia Australis*, v. 14, n. 4, p. 1025-1035, 2010.

¹³² GADD, Geoffrey Michael. Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, v. 84, n. 1, p. 13-28, 2009.

¹³³ BERTOLAZI, Amanda; CANTON, Gabriela; AZEVEDO, Inga; CRUZ, Zilma; SOARES, Daniela; CONCEIÇÃO, Juliana; SANTOS, Wolmen; RAMOS, Alessandro. O papel das ectomicorizas na biorremediação de metais pesados no solo. *Natureza on line*, Santa Teresa, v. 8, n. 1, p. 24-31, 2010.

Diante disso, é possível perceber que a biorremediação faz parte de uma abordagem sustentável e benéfica ao ambiente, mitigando impactos dos contaminantes ambientais, sendo considerada, portanto, como uma promessa significativa na remediação de diversos poluentes. No entanto, sua eficácia ainda está intrinsecamente associada a diversos fatores fundamentais. Dentre esses fatores, podem ser destacados como desafios principais o pH, a temperatura e a disponibilidade de nutrientes.¹³⁴

Somado a isso, a disponibilidade de nutrientes essenciais, como carbono, nitrogênio e fósforo, possuem papel fundamental no aumento microbiano e na degradação de poluentes. Taxas inadequadas de nutrientes têm potencial de impedimento do êxito da biorremediação, gerando a necessidade de adotar estratégias suplementares ou otimizações. Enfrentar tais desafios é, portanto, um exercício crucial para o aumento da eficácia das técnicas de biorremediação.

Portanto, é possível perceber que diante do uso desmedido de recursos naturais, surge uma corrida em busca de alternativas capazes de recuperar os ambientes de onde esses insumos são extraídos. E a biorremediação, além de utilizar seres vivos na sua recuperação, tem apresentado resultados cada vez mais eficazes com o progresso do conhecimento científico e o aprimoramento de técnicas cada vez mais eficazes e adequadas. No entanto, a literatura aponta que não basta somente haver uma corrente em busca de alternativas com estas características para remediar ambientes impactados, sendo necessário que sejam programadas políticas mais rígidas que se atentem para a garantia de produções mais sustentáveis.¹³⁵

Nessa toada, convém ressaltar também que, embora haja muitas práticas voltadas para a utilização de microrganismos no processo de biorremediação, ainda existem avanços no campo científico que necessitam ser realizados a fim de garantir aprofundamentos nos mecanismos e reproduções controladas das reações, que ocorrem durante os processos de biorremediação. A realidade que se vive, atualmente, em se tratando dos recursos naturais, caminha na busca por remediar muitas agressões desmedidas realizadas pela sociedade e a biotecnologia moderna,

¹³⁴ HARAYAMA, Shigeaki; KASAI, Yuri; AKIHIRO, Hara. Microbial communities in oil-contaminated seawater. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 15, n. 3, p. 205-214, 2004.

¹³⁵ MALLMANN, Viviane; ARAGÃO, Lucas Wagner Ribeiro; FERNANDES, Shaline Séfera Lopes; FERNANDES, Tauane Catilza Lopes; ARAGÃO, Roberta Fernanda Ribeiro; SILVA, Rogério César de Lara. As vantagens da biorremediação na qualidade ambiental. *Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, v. 23, n. 1, p. 12-15, 2019.

incluindo a engenharia genética, oferece oportunidades para otimizar e expandir a aplicação da biorremediação em diversos cenários.

3.3 Processos bióticos de descontaminação de petroderivados em ambiente marinho

Bactérias, fungos e algas são frequentemente empregados em processos de biorremediação devido à sua capacidade de metabolizar compostos orgânicos e inorgânicos.¹³⁶ O processo de descontaminação pode ocorrer em meio a dois fatores, tais sejam: fatores bióticos, que envolvem componentes vivos; e os fatores abióticos, que se referem a compostos sem vida.

A escolha entre esses processos irá depender da natureza dos contaminantes, do ambiente que está afetado e das especificidades do local, sendo possível, inclusive, realizar a combinação das duas abordagens para atingir maior eficácia na descontaminação. Dentro dos processos bióticos podem ser destacados quatro técnicas que são mais comumente utilizadas, sendo elas: a biodegradação, a bioaugmentação, a bioestimulação e a biorremediação.¹³⁷

No que tange a biodegradação, este é um processo biológico pelo qual compostos orgânicos mais complexos são decompostos de maneira enzimática, sendo transformados então em substâncias mais simples e benignas ao ambiente natural, realizado por microrganismos como bactérias, fungos e outras formas microbianas. Este processo pode ser considerado como uma forma de reciclagem de matéria orgânica nos ecossistemas, propiciando a manutenção do equilíbrio ambiental. Neste processo, os microrganismos fazem uso de materiais orgânicos como substratos, gerando produtos finais como dióxido de carbono, água e biomassa microbiana.¹³⁸

Já a biodegradação possui diversas vantagens, uma vez que pode exercer um papel de remediação ambiental, mitigando poluições ambientais. Desta forma, os microrganismos podem ter aproveitamento na degradação e desintoxicação de ampla variedade de contaminantes, incluindo hidrocarbonetos, pesticidas e outros produtos

¹³⁶ VIDALI, Marisa. Bioremediation. An overview. *Pure and Applied Chemistry*, v. 73, n. 7, p. 1163-1172, 2001.

¹³⁷ VAN HAMME, Jonathan; SINGH, Ajay; WARD, Owen. Recent advances in petroleum microbiology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, v. 67, n. 4, p. 503-549, 2003.

¹³⁸ ALEXANDER, Martin. *Biodegradation and bioremediation*. 2 edition. Academic Press. USA. 1999.

químicos, colaborando, assim, para uma restauração de locais contaminados. Diversos microrganismos marinhos, como bactérias e fungos, têm a capacidade de metabolizar hidrocarbonetos como fonte de energia e carbono. Esses microrganismos transformam os hidrocarbonetos em compostos menos tóxicos.¹³⁹

A biodegradação apresenta diversas aplicabilidades, sendo um componente com grande potencial de tratamento nos sistemas de águas residuais. Dessa forma, microrganismos são utilizados para a biodegradação de matéria orgânica em locais como esgotos ou efluentes industriais, possibilitando a redução de poluentes e um processo de limpeza da água. Esta estratégia remedia também locais com derramamento de óleo e aterros sanitários, decompondo microrganismos e transformando os poluentes em substâncias menos nocivas, facilitando, portanto, a limpeza de ambientes que apresentam contaminação.

Além dessas aplicações mencionadas, a biodegradação também exerce um papel importante na produção de energia a partir de bioconversão, produzindo uma fonte de energia renovável e sustentável, como também nos processos de compostagem, com a utilização de microrganismos para degradação de resíduos orgânicos que podem ser utilizados no setor agrário. Em síntese, este é um processo ecológico de grande potencial facilitado pela atividade microbiana, sendo aproveitado para uma gama de aplicações, desde restaurações ambientais até a gestão residual e criação de energia sustentável.¹⁴⁰

Também é possível promover a introdução de microrganismos específicos por degradar petroderivados e contribuir com a aceleração do processo de biodegradação.¹¹⁷ Este processo, que é conhecido como bioaugmentação, consiste na alteração do meio ambiente visando extinguir fatores que limitam o crescimento e desenvolvimento de microrganismos, contemplando, dessa maneira, a biodegradação dos compostos orgânicos poluentes pela população nativa. A bioaugmentação, juntamente com a tecnologia de inoculação de microrganismos externos, constituem as técnicas mais utilizadas na biorremediação, estabelecendo importante papel na recuperação de áreas degradadas pela ação do homem.¹⁴¹

Dessa forma, tal abordagem é empregada com o intuito de provocar uma

¹³⁹ TONINI, Rita Maria Costa Wetler; DE REZENDE, Carlos Eduardo; GRATIVOL, Adriana Daudt. p. 1025-1035. *loc cit.*

¹⁴⁰ PEREIRA, Aline Ramalho Brandão; FREITAS, Diego Antônio França. p. 995-1006. *loc cit.*

¹⁴¹ *Ibid.*

aceleração na degradação de poluentes específicos que possam ser encarados como obstáculos à metabolização eficiente de microrganismos. Assim, pode-se afirmar, portanto, que a bioaugmentação suplementa microrganismos externos, especialmente bactérias de origem natural, não patogênicas e sem alterações genéticas, a sistemas de tratamento residual orgânico, com o objetivo de melhorar a eficiência processual biológica e, desta forma, aprimorar as características finais do efluente.¹⁴²

Esta tecnologia é utilizada e amplamente praticada desde a década de 1960 pelos Estados Unidos e, no contexto brasileiro, vem sendo incrementada desde os anos de 1990 com a chegada em território nacional de empresas que comercializavam aditivos bioquímicos para tais finalidades. O processo de adição de microrganismos selecionados e multiplicados em laboratório a sistemas de tratamento de efluentes gera benefícios em seus processos, uma vez que a população nativa de microrganismos nem sempre promove os mais efetivos resultados no processo de biodegradação de compostos orgânicos, em função da relação de nutrientes como o carbono, nitrogênio e fósforo.¹⁴³

É necessário também destacar que estes microrganismos se encontram em equilíbrio no ambiente e, dentro desta população nativa, também existem outros que são desejáveis e capazes de realizar a biodegradação de poluentes, como também os que são não desejáveis e incapazes de obter biodegradação, tendo influências de fatores relacionados ao crescimento e oxigênio.¹⁴⁴

Devido a capacidade de aceleração da degradação de contaminantes, este processo tem potencial para o tratamento de águas residuais, melhorando assim o tratamento de efluentes industriais e poluentes mais complexos, bem como o processo de limpeza em derramamentos de óleo, o que auxilia na aceleração da decomposição desse composto e, conseqüentemente, reduz o impacto ambiental.

Além disso, também pode ser utilizada no gerenciamento de aterros sanitários, facilitando a decomposição de resíduos orgânicos neste ambiente e reduzindo o volume de aterros, como também na área da agricultura, melhorando a saúde do solo e crescimento de plantas, aprimorando a disponibilidade de nutrientes e fertilidade. Nesse sentido, o bioaumento pode ser encarado como uma abordagem

¹⁴² CUNHA, Cláudia Duarte; LEITE, Selma Gomes Ferreira. p. 41-49. *loc cit.*

¹⁴³ JERÔNIMO, Carlos Henrique; FERNANDES, Hermano Gomes; MELO, Hênio Normando Souza; SOUZA, João Fernandes. Bioaugmentação para degradação de efluentes do processamento da castanha de caju. HOLOS, v. 3, p. 47-59, 2012

¹⁴⁴ *Ibid.*

de biorremediação com impactos significativos diante dos desafios da poluição, uma vez que faz proveito do potencial metabólico de microrganismos específicos, servindo então como uma ferramenta valiosa para a otimização de degradação de poluentes em diversos contextos ambientais.¹⁴⁵

A adição de nutrientes como nitrogênio e fósforo podem estimular a atividade dos microrganismos indígenas e acelerar a biodegradação. Essa é uma estratégia de bioestimulação, a qual envolve a introdução de agentes estimulantes que provocam o crescimento e atividade de microrganismos nativos em locais contaminados. Esta abordagem tem como intuito principal capacitar o aumento de microrganismos biodegradantes dos poluentes ambientais, estimulando sua metabolização e proliferação. Tais estímulos podem, então, incluir a adição de componentes como nutrientes, oxigênio e produtos químicos, como também proporcionar melhores condições ambientais para que os contaminantes sejam degradados.¹⁴⁶

A bioestimulação oferece uma ampla gama de vantagens em sua aplicação, sendo considerada ambientalmente sustentável, atuando em conjunto com microrganismos presentes no ambiente, potencializando seus processos naturais de degradação. Somado a isso, em diversas vezes, é tida como a abordagem mais econômica quando comparada a outros métodos de biorremediação, tendo como resultado menores índices de resíduos secundários, bem como sua adaptabilidade a condições específicas nos ambientes.

Além disso, uma característica importante dessa abordagem diz respeito à sua capacidade de preservação da biodiversidade microbiana nativa, levando em consideração que não há a introdução de novas espécies microbianas. Isso posto, há então uma grande importância para a homeostase ecológica do ambiente.¹⁴⁷

Em suma, a bioestimulação pode ser considerada como estratégia eficiente de biorremediação, pois aproveita microrganismos nativos para realizar a degradação de contaminantes ambientais. Nesse sentido, oferece então diversas vantagens, tais como sustentabilidade ambiental, economia de custos e adaptação a especificidades

¹⁴⁵ VARJANI, Sunita; UPASANI, Vivek. Influence of abiotic factors, natural attenuation, bioaugmentation and nutrient supplementation on bioremediation of petroleum crude contaminated agricultural soil. *Journal of environmental management*, v. 245, p. 358-366, 2019.

¹⁴⁶ *Ibid.*

¹⁴⁷ TYAGI, Meenu; FONSECA, Manuela; CARVALHO, Carla. Bioaugmentation and biostimulation strategies to improve the effectiveness of bioremediation processes. *Biodegradation*, v. 22, p. 231-241, 2011.

do ambiente, desempenhando um papel crucial na restauração de ambientes contaminados.

No que tange a biorremediação, esta caracteriza-se como uma abordagem mais holística que combina várias técnicas, como bioaugmentação e bioestimulação, para otimizar a degradação biológica de petroderivados, sendo amplamente reconhecida e ambientalmente sustentável para a limpeza de ambientes contaminados.

Nesse contexto, são aproveitadas as capacidades inerentes dos microrganismos, incluindo bactérias, fungos e algas para degradar, transformar ou imobilizar vários contaminantes. As estratégias de biorremediação podem ser classificadas tanto *in situ* como *ex situ*, cada uma adaptada às condições do ambiente e especificidades dos tipos de contaminantes.¹⁴⁸

A biorremediação é considerada uma abordagem sustentável e econômica para uma ampla gama de questões de contaminação ambiental. A sua eficácia, como já dito, dependerá, no entanto, de diversos fatores, incluindo o tipo de contaminante, as condições ambientais e os tipos microbianos ou plantas a serem utilizadas.

A biorremediação por processos bióticos são, portanto, uma alternativa viável no tratamento da contaminação por petróleo em ambientes marinhos. Tais processos, impulsionados por comunidades microbianas, têm ação comprovadamente eficaz na degradação de hidrocarbonetos e de descontaminação marítima. Somado a isso, a capacidade adaptativa de diferentes espécies microbianas contribui para a eficiência biodegradante e a potência restauradora do equilíbrio de ecossistemas marinhos afetados por poluentes petroquímicos.¹⁴⁹

Nesse sentido, a aplicabilidade desta técnica também pode favorecer o trabalho de biorremediação de solos, em tratamento de águas residuais ou subterrâneas contaminadas, em casos específicos de derramamento de petróleo, fitorremediação com o uso de plantas e biorremediação agrícola, caracterizando-se como uma alternativa sustentável, eficaz e economicamente vantajosa para a limpeza de locais contaminados, com benefícios que vão desde a redução do impacto

¹⁴⁸ ATLAS, Ronald; UNTERMAN, Rebeca. Bioremediation. Chem. Eng. News, v. 73, n. 14, p. 32-42, 1995.

¹⁴⁹ GOMES, Edelvio de Barros. Biodegradabilidade de querosene de aviação movimentado pelo Terminal Portuário de Suape-PE. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biotecnologia de Produtos Bioativos, Departamento de Antibióticos, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 2014.

ambiental até a melhora da qualidade de solo e água.

3.4 Processos abióticos de descontaminação de petroderivados em ambiente marinho

Além dos processos bióticos utilizados nos processos de remediação ambiental, existem também os mecanismos abióticos que desempenham um importante papel no que tange a eliminação de contaminantes no meio ambiente. Muitos componentes dos petroderivados são voláteis e podem evaporar da superfície da água, especialmente sob a influência do vento e da luz solar, tal conceito é conhecido como volatilização, que se refere à transformação e liberação de contaminantes para a fase gasosa. Este processo abarca principalmente a conversão de compostos semivoláteis ou não voláteis, que são encontrados em solos, águas e sedimentos, em compostos voláteis, permitindo-os entrar na atmosfera.¹⁵⁰

O processo de volatilização ocorre em decorrência do aumento da temperatura, mudanças na pressão ou alterações nas propriedades físico-químicas dos contaminantes. A liberação de compostos voláteis pode ter como resultado processos naturais, como é o exemplo da fotodegradação por indução solar ou processos humanamente induzidos, incluindo operações industriais e a utilização de compostos orgânicos voláteis.¹⁵¹

A volatilização pode ter em suas consequências ambientais tanto benefícios como também resultados adversos, a depender da natureza dos contaminantes envolvidos no processo. Dessa forma, se faz essencial a compreensão dos mecanismos e fatores que o governam na etapa de avaliação e gestão da contaminação ambiental.

No que se refere aos seus benefícios, a volatilização pode ser entendida como um processo valioso na remoção de contaminantes em diversos contextos ambientais, tais como solo, água e sedimentos e, quando gerenciada adequadamente, pode mitigar impactos ambientais desencadeados por contaminantes, o que permite dispersar e diluir em sua transferência atmosférica e, conseqüentemente, reduzir a concentração de contaminantes na área afetada.

¹⁵⁰ THOMAS, Richard. Volatilization from water. Handbook of chemical property estimation methods, v. 15, 1982.

¹⁵¹ *Ibid.*

Geralmente a volatilização ocorre como mecanismo de remediação natural, sendo impulsionado por fatores ambientais que envolvem mudanças de pressão e temperatura e, portanto, se mostra vantajosa na complementaridade com outras estratégias biorremediadoras. Além disso, devido a sua capacidade de ser induzida e controlada intencionalmente, possui potencial para resolutividade de problemas específicos de contaminação, por meio de uma espécie de tratamento controlado.¹⁵²

Em algumas circunstâncias, a volatilização intencional de contaminantes pode servir como medida preventiva, garantindo que compostos perigosos não se acumulem no ambiente em tratamento e reduzindo, portanto, potenciais futuras contaminações. Devido a sua possibilidade complementar a outros processos bióticos, a volatilização pode facilitar a descontaminação dos ambientes, uma vez que possui a capacidade de conversão de compostos complexos em outros mais suscetíveis à degradação. Além disso, é considerada uma estratégia econômica de remediação, principalmente devido a sua ocorrência de maneira natural, favorecendo a remoção de contaminantes, bem como a redução de riscos e impactos ambientais.¹⁵³

Outro processo a ser mencionado é a fotodegradação, que consiste em uma degradação fotolítica ou abiótica em que contaminantes são decompostos e transformados em formas menos prejudiciais ou mais biodegradáveis quando expostos à radiação ultravioleta (UV) ou à luz solar. A exposição à luz ultravioleta pode quebrar moléculas de hidrocarbonetos, especialmente os componentes mais leves do petróleo.¹⁵⁴

A fotodegradação pode facilitar a transformação e redução de uma ampla gama de contaminantes, incluindo poluentes orgânicos persistentes, pesticidas e contaminantes emergentes. Este processo irá depender da energia dos fótons na faixa UV para iniciar reações químicas que levam à degradação de compostos orgânicos mais complexos, podendo ser utilizados, por exemplo, no tratamento de água, especialmente para a remoção de determinados contaminantes, melhorando a decomposição destes e garantindo a produção de água limpa e segura.¹⁵⁵

Em tratamento de águas residuais, utiliza-se a fotodegradação como parte

¹⁵² CRUZ, Geórgia Gomes. Tratamento biológico de óleo diesel por consórcio fúngico. 2017. 114 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

¹⁵³ *Ibid.*

¹⁵⁴ PRINCE, Roger. The microbiology of marine oil spill bioremediation. *Petroleum Microbiology*. p. 317-335. ASM Press. 2005.

¹⁵⁵ ZIOLLI, Roberta Lourenço; JARDIM, Wilson F. Mecanismo de fotodegradação de compostos orgânicos catalisada por TiO₂. *Química Nova*, v. 21, p. 319-325, 1998.

terciária deste processo, removendo compostos orgânicos recalcitrantes e outros produtos prejudiciais ao meio ambiente. Também há seu emprego em processos de limpeza ambiental que envolvem a remediação de solos ou sedimentos contaminados, em que a luz ultravioleta (UV) ou luz solar têm potencial de decompor os poluentes orgânicos prejudiciais, reduzindo impactos ambientais e, portanto, podem ser considerados como eficazes na redução dos níveis desses contaminantes nos efluentes.¹⁵⁶

A tecnologia de fotocatalise é considerada como componente principal da fotodegradação, lançando mão de um processo versátil que faz uso de fotocatalisadores semicondutores no intuito de agilizar a degradação de contaminantes, sendo aplicável tanto no tratamento de águas quanto na purificação do ar. Desta forma, o processo contribui para a remoção de compostos orgânicos voláteis do ar, melhorando a sua qualidade.¹⁵⁷

Somado a isso, a fotodegradação tem aplicabilidade também na decomposição de produtos químicos indesejados ou que tenham algum grau de periculosidade, em compostos alimentícios e farmacêuticos, sendo a irradiação UV capaz de degradar compostos complexos em substâncias menos nocivas e mais simples, garantindo, portanto, a qualidade e a segurança dos produtos. Em suma, o processo abiótico de fotodegradação possui uma ampla gama de aplicações, principalmente no tratamento ambiental de água e ar, portanto, a compreensão desse mecanismo de remediação ambiental possui relevância uma vez que permite uma purificação sustentável em processos de descontaminação.¹⁵⁸

No contexto da remediação ambiental, a dissolução é um processo vital, especialmente no tratamento de contaminantes à base de hidrocarbonetos, como é o exemplo de compostos de petróleo. Isso posto, alguns componentes dos petroderivados são solúveis em água e podem se dissolver no ambiente marinho, embora o petróleo seja predominantemente insolúvel. Esse mecanismo envolve a interação química e física de um contaminante com uma fase líquida, levando à dissolução do contaminante no líquido, normalmente água ou outras soluções

¹⁵⁶ CHEN, Chuncheng; MA, Wanhong; ZHAO, Jincal. Semiconductor-mediated photodegradation of pollutants under visible-light irradiation. *Chemical Society Reviews*, v. 39, n. 11, p. 4206-4219, 2010.

¹⁵⁷ TEODORO, Anderson; BONCZ, Marc Árpád; PAULO, Paula Loreiro; MACHULEK JUNIOR, Amílcar. Desinfecção de água cinza por fotocatalise heterogênea. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 22, p. 1017-1026, 2017.

¹⁵⁸ *Ibid.*

aquosas, com forte potencial de contaminação e produção de severos prejuízos ambientais.¹⁵⁹

O processo de dissolução serve como um mecanismo potente na remediação de ambientes contaminados por hidrocarbonetos, como solo e água, favorecendo a partição dos seus compostos constituintes facilitando, portanto, a sua remoção. Tal processo ajuda não apenas na remoção de poluentes e contaminantes, mas também facilita o transporte e biodisponibilidade de componentes de pouca solubilidade aquosa para processos posteriores de degradação, como a biodegradação.¹⁶⁰

Métodos de remediação baseados em dissolução são usados para melhorar a solubilidade e posterior remoção de contaminantes tornando-os, portanto, uma alternativa possível para tratamento *in situ*. No que tange aos produtos petrolíferos, que tem por característica principal a mistura de hidrocarbonetos complexos, podem passar por tratamentos em dissolução por solventes adequados ou soluções aquosas. Este é, em muitos casos, o primeiro passo para a descontaminação em situações de derramamento de petróleo em solos ou águas subterrâneas contaminadas.¹⁶¹

A dissolução não somente favorece a separação física do petróleo dos meios impactados, como também promove a sua subsequente degradação. Esta associação entre os processos de dissolução e degradação é de extrema relevância para o sucesso da remediação de ambientes contaminados com petróleo, destacando a interconexão destes mecanismos no tratamento da poluição por hidrocarbonetos.

Em síntese, a dissolução é considerada como processo fundamental na remediação ambiental, especialmente em circunstâncias de poluição petrolífera, uma vez que permite a separação e subsequente remoção de contaminantes à base de hidrocarbonetos. Este processo majora a biodisponibilidade, o transporte e a posterior degradação, colaborando assim para a gestão abrangente e sustentável de áreas contaminadas.¹⁶²

¹⁵⁹ REDDY, Christopher; QUINN, James. The North Cape oil spill: Hydrocarbons in Rhode Island coastal waters and Point Judith Pond. *Marine Environmental Research*, 52(5), 445-461. 2001.

¹⁶⁰ JUNQUEIRA, Paula Gomes. Estudo geofísico em área contaminada por diesel no município de Cerquilha (SP). 2017. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista – UNESP, São Paulo, 2017.

¹⁶¹ CARDOSO, José Eduardo Taddei. Avaliação de técnicas de remediação em processos de contaminação da água e do solo por hidrocarbonetos. 2018. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Bauru, São Paulo, 2018.

¹⁶² *Ibid.*

A sedimentação é outro processo abiótico importante a ser considerado na remediação ambiental, particularmente quando se trata do destino e transporte de componentes mais pesados dentro de contaminantes à base de petróleo. Com o tempo, os componentes mais pesados do petróleo podem se ligar a partículas e sedimentar no fundo do oceano.¹⁶³

Os componentes sedimentares dos hidrocarbonetos podem persistir no meio ambiente devido à exposição reduzida aos processos naturais de degradação. Essa persistência destaca as consequências a longo prazo da sedimentação na poluição ambiental. A detecção e remediação de componentes petrolíferos presos aos sedimentos podem ser vistas como um desafio a ser enfrentado, sendo necessário, portanto, o uso de técnicas especializadas para sua gestão e recuperação.¹⁶⁴

No contexto da poluição por petroderivados, os fenômenos de sedimentação encontram-se intrinsecamente relacionados com o destino e comportamento dos hidrocarbonetos derramados. As frações mais pesadas do petróleo tendem a ficar expostas à sedimentação, onde a gravidade atua sobre essas frações mais densas, fazendo com que elas criem aderência às partículas de sedimentos e eventualmente caiam no fundo do mar. Este processo pode afetar significativamente a distribuição, transporte e persistência de derrames de petróleo em ecossistemas aquáticos e, por esse motivo, deve ser dada especial atenção voltada a incidentes ambientais relacionados com o petróleo. Isto sublinha a necessidade de abordagens abrangentes que tomem em consideração a questão dinâmica da sedimentação na avaliação e remediação de incidentes de contaminação relacionados com o petróleo.

A poluição do ambiente marinho por produtos petrolíferos é uma preocupação em nível global, devido à frequência com que ocorrem e à importância ecológica de oceanos. Diversos processos, tanto bióticos como abióticos, favorecem a degradação e a remoção de seus derivados do ambiente marinho. Estes processos são exercidos em conjunto para a redução do impacto ocasionado quando do seu derramamento no mar. A compreensão de tais mecanismos se faz, portanto, fundamental para o desenvolvimento de estratégias de remediação eficazes de modo

¹⁶³ LEAHY, Joseph; COLWELL, Rita. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *Microbiological Reviews*, 54(3), 305-315. 1990.

¹⁶⁴ DEMORE, João Pedro. Aspectos sedimentares do estuário da lagoa dos patos e sua interação com a poluição por petróleo: subsídios para um plano de contingência. 2001. 52 f. Monografia (Especialização) - Curso de Oceanografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2001.

a responder a esta problemática.

Assim, a descontaminação de petroderivados no ambiente marinho tornou-se uma questão primordial às diferentes esferas governamentais, nacional e internacionalmente, uma vez que tende a envolver potenciais danos ambientais e impactos negativos. Desta forma, os processos de descontaminação bióticos e abióticos para a remediação de derivados de petróleo são fundamentais à gestão ambiental emergente, promovendo a colaboração entre organizações governamentais, legislações de amparo ao ambiente e conscientização social que tendem a resultar na melhoria das estratégias de reparação ambiental e a minimização dos impactos negativos na sociedade e nos ecossistemas marinhos.

3.5 Marco legal brasileiro acerca da poluição por petroderivados

No campo legislativo nacional, o cenário da atenção sobre a poluição do mar por petroderivados pode ser apresentado de maneira cronológica, sendo composto por decretos, leis e resoluções, a iniciar pela Lei de nº 5.357, de 17 de novembro de 1967, que estabelecia penalidades para embarcações e terminais marítimos ou fluviais que lançassem detritos ou óleo em águas brasileiras projetadas em um raio de até 6 milhas marítimas (aproximadamente 11,11 quilômetros) de distância, sendo este dispositivo posteriormente revogado pela Lei de nº 9.966 de 2000¹⁶⁵, intitulada Lei do Óleo, que passou a tratar acerca do tema.

A pauta da responsabilização para os poluidores de óleo no mar foi incorporada por meio do Decreto nº 79.437 dez anos depois, em março de 1977, sendo visto como resultado do aceite do país às diretrizes da Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil em Danos Causados por Poluição por Óleo, estabelecido mediante a aprovação do Congresso Nacional através do Decreto Legislativo de nº 74, de 02 de outubro de 1976.

Em outra seara, foi editado, através do Decreto de nº 99.348, de 26 de junho de 1990, um Grupo de Trabalho (GT) para tratar das legislações já existentes sobre a contaminação provocada por derramamento de óleo e outras substâncias nocivas, junto com uma proposta sobre as mudanças que deveriam ser realizadas.

¹⁶⁵ BRASIL. Lei de nº 9.966, de 28 de abril de 2000. Lei do Óleo. *Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências.*

Este documento foi a primeira tentativa de um GT propor deliberações acerca da contaminação de tais substâncias, envolvendo vários entes, incluindo o IBAMA, alguns ministérios e a Secretaria do Meio Ambiente.

Já em 04 de março de 1998 foi implementado o Decreto nº 2.508, que declarava a concordância do Brasil com a Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios. Este decreto enfatizava o interesse da eliminação do óleo e outras substâncias no mar e a busca por meios preventivos de incidentes oleosos. No mesmo ano foram ratificadas diretivas da Convenção Internacional sobre preparo, resposta e cooperação em caso de poluição por óleo. Este texto normativo afirmava o comprometimento brasileiro para agir nas ocorrências de contaminação por óleo, bem como prestar auxílio a outros países.

A atuação do Brasil à luz da de tais diretivas reflete a sua participação na prevenção dos incidentes por óleo e a gestão operacional para dirimir a poluição. Esta abordagem, no entanto, foi tida como ineficaz, já que buscou remediar os danos somente após o derrame de óleo.¹⁶⁶

Em decorrência de tal posicionamento, no ano de 2000 foram instituídas a Resolução de nº 265 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA e a Lei do Óleo. Estes mecanismos legais trouxeram, como objetivo principal, o estabelecimento de diretrizes de controle e fiscalização da movimentação de óleo e outras substâncias em águas sob jurisdição nacional.

A Lei do Óleo definiu o *modus operandi* do sistema de prevenção e combate à poluição, abarcando o cuidado que deve estar presente no transporte e descarga de óleo, bem como as demais substâncias nocivas e a imposição de infrações para os que a descumprirem. Esta norma teve o intuito de estabelecer, além dos Planos de Emergência Individuais – PEI's, o Manual de Procedimento Interno para mitigação da poluição oleosa, além de propor a criação de um Plano Nacional de Contingência.¹⁶⁷

No de 2001, a Resolução CONAMA de nº 293 organizou e estabeleceu condutas que devem ser respeitadas nos PEI's. Nesse sentido, o Decreto de nº 4.136, de 20 de fevereiro de 2002, abrangeu as preocupações desta resolução,

¹⁶⁶ ANDRADE, José Célio Silveira; MARINHO, Márcia Mara de Oliveira; KIPERSTOK, Asher. Uma política nacional de meio ambiente focada na produção limpa: elementos para discussão. Bahia Análise e Dados, v. 10, n. 4, p. 326-332, 2001.

¹⁶⁷ SOUZA, Artur Henrique Freitas Florentino de. Avaliação da eficiência da biorremediação por perifiton em rio urbano. 2020. 197 f. Tese (Doutorado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

acrescentando a especificações das sanções e infrações aos poluidores. Diante disso, restou definido que os atores que passariam a responder pela infração ou até mesmo a omissão, compreenderiam o proprietário do navio, o operador, o comandante, o concessionário, o representante do porto ou da instalação similar e o proprietário da carga. Tais punições variavam, desde uma advertência simples até mesmo a privação das atividades de maneira parcial ou integral, bem como sanções restritivas de direitos, como o cancelamento ou perda de licença e/ou impedimento de contrato com a administração pública por até três anos.¹⁶⁸

No ano de 2003, com o Decreto de nº 4.871, foram atribuídos o tratamento para a integração dos Planos de Emergências Individuais. Havendo na sequência, em 2008, um novo marco de inserção internacional do Brasil com o Decreto de nº 6.478, que instituiu a concordância nacional à Convenção Internacional da Intervenção em Alto-Mar em casos de acidentes com poluição por óleo e o protocolo referente à intervenção em alto-mar em casos de poluição por outras substâncias que não óleo.

Já no ano de 2013, com o Decreto nº 8.127/2013, foi fundado definitivamente o Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional do PNC, que se apresentou, portanto, como a política do planejamento nacional para contenção de acidentes. Este decreto sofreu alterações em 2022, posteriormente ao incidente do vazamento de óleo nos estados do Nordeste e Sudeste, em 2019 e 2020, sendo então estabelecido um novo instrumento legal, o Decreto nº 10.950.¹⁶⁹

A importância deste caso de poluição por óleo, anterior à mudança do plano, dá-se pelos seus impactos negativos, sendo considerado até então como a maior tragédia petrolífera registrado em território nacional e o desastre ambiental mais preocupante das regiões tropicais costeiras. Tais mudanças no instrumento legal do plano de contingência infere que este tema foi revisitado devido à experiência das ações de derrames de óleo mencionadas, bem como por demais fatores.¹⁷⁰

Nesse contexto, percebe-se que houve progressos na evolução dos esforços legislativos relativos à poluição marinha por produtos petroquímicos. Esta

¹⁶⁸ BLOOM, Nick; GRIFFITH, Rachel; VAN REENEN, John. Do R&D tax credits work? Evidence from a panel of countries 1979-1997. *Journal of Public Economics*, 85(1), 1-31. 2002.

¹⁶⁹ DERANI, Cristiane; SOUZA, Kelly Schaper Soriano. p. 247-272. *loc cit.*

¹⁷⁰ LOURENÇO, Rafael André; COMBI, Tatiane; ALEXANDRE, Marcelo da Rosa; SASAKI, Silvio Tarou; ZANARDI-LAMARDO, Eliete; YOGUI, Gilvan Takeshi. Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019–2020): Trying to find answers and filling data gaps. *Marine Pollution Bulletin*, v. 156, SP (111219), 2020.

progressão sinaliza o compromisso firmado pelo país junto às convenções internacionais na abordagem da problemática de contaminação de petróleo neste ambiente, refletindo em mudanças de postura na fiscalização e medidas que previnam e atenuem os impactos causados por estas atividades.¹⁷¹

¹⁷¹ SILVA, Paloma Mirelly Amorim. Maré de mudanças: rastreando o plano de contenção da poluição por óleo no Brasil. 2023. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência Política, Departamento de Ciência Política, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

4 POLÍTICAS EXTRAFISCAIS PARA DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE BIOTECNOLOGIA NOS PROCESSOS DE REMEDIAÇÃO DE PETRODERIVADOS DO AMBIENTE MARINHO BRASILEIRO

Além do significativo desafio ambiental que constitui a poluição por petroderivados, com produzem graves consequências aos ecossistemas e à saúde humana, deparam-se os Estados com a dificuldade, muitas vezes na seara política e financeira, com a incapacidade de solucionar este problema de forma efetiva. Nesse contexto, a biotecnologia emergiu como uma ferramenta poderosa para remediar áreas afetadas por derrames de petróleo capaz de promover a biodegradação desses compostos e reconfigurar, de forma sustentável, o meio ambiente marinho vítima das ocorrências insidiosas da atividade petrolífera quando não obedecidas as normativas legais de sua manipulação e transporte.¹⁷²

Assim, o processo de aproveitamento da atividade microbiana para remoção dos poluentes, mesmo sendo certificada por sua eficácia, ainda demanda o desenvolvimento de muitos estudos para aprimoramento das técnicas utilizadas. Assim, observando a evolução de sua aplicabilidade, os processos de biorremediação têm se tornado cada vez mais céleres e econômicos, o que oferece vantagens notáveis à sustentabilidade ambiental.¹⁷³

Destarte, imprescindível destacar a gama de produção bibliográfica e científica produzida nos centros de tecnologia brasileiros e mundiais sobre o tema. São elaboradas incontáveis pesquisas que utilizam microrganismos remediadores de petroderivados com amplo potencial de utilização em intercorrências ambientais do gênero.

Essa produção em larga escala faz do Brasil um dos principais produtores científicos de nesse segmento, adicionando a esta realidade o fato da diversidade biológica característica do país que facilita a inovação na variedade de espécies utilizadas que garantem resultados eficientes e cada vez mais promissores para o uso em larga escala.

Porém, há de se ressaltar que mesmo com essa virtual capacidade de utilização, não se verificam incentivos extrafiscais promotores de maiores

¹⁷² GUIMARÃES, Marco Cesar; GAMA FILHO, Reubes Valério; CORREIA, Vitor Guimarães. Biotecnologia e desenvolvimento sustentável no Brasil. Revista Visões. vol. 1, n. 4, Jan/Jun 2008.

¹⁷³ SOUZA, Artur Henrique Freitas Florentino de. *loc cit.*

desenvolvimentos do setor privado. Assim, essa ausência permeia quase à margem das diretrizes dispostas na Constituição Federal de 1988 e da Política Nacional do Meio Ambiente no que se refere a preservação ambiental e desenvolvimento sustentável, considerando que a desenvolvimento industrial de biotecnologia para biorremediação de compostos do petróleo, quando do seu derramamento, traria uma resposta célere e eficiente na minimização dos impactos ambientais.

Logo, percebe-se que esse abismo entre a capacidade técnica e real produção industrial dessa tecnologia é inversamente proporcional aos incentivos fiscais direcionados à indústria petrolífera, que galga, em situações específicas, de facilidades fiscais e tributárias, além de sofrer corriqueiras influências políticas que lhe conferem primazia industrial.

Assim, inegáveis são os incentivos ao desenvolvimento tecnológico, acadêmico e industrial direcionados à extração, refino, transporte e produção de derivados do petróleo, que encontram espaço em todos os setores da sociedade contemporânea.

E, em oposição a essa realidade intrínseca da atividade humana, não são encontrados incentivos extrafiscais que garantam o uso de biorremediadores como mecanismos de proteção ao litoral marinho brasileiro, indo na contramão da tendência mundial que coaduna no sentido de recepcionar e pôr em prática as extrafiscais, já que o processo que utiliza microrganismos para eliminar ou reduzir a poluição ambiental é próspero e atual.¹⁷⁴

4.1 Os incentivos fiscais para o desenvolvimento de novos processos biotecnológicos de proteção ambiental

A biotecnologia se estabeleceu como uma solução poderosa e irrefreável na busca da redução dos impactos ambientais pelo derramamento de composto de alta toxicidade, dentre eles o petróleo e seus derivados. Contudo, para que o setor continue a crescer, é essencial que os setores público e privado recebam apoio e incentivo, através de políticas fiscais que impulsionem a produção, em larga escala, do que atualmente é, quase exclusividade, dos centros acadêmicos de pesquisa.

¹⁷⁴ GUIMARÃES, Marco Cesar; GAMA FILHO, Reubes Valério; CORREIA, Vitor Guimarães. *loc cit.*

Assim, processos de robustos resultados na promoção da restauração do equilíbrio ambiental poderão, senão de forma equitativa à indústria petroleira, mas ao menos como proposta eficiente de remediação, desempenhar um papel fundamental na promoção da sustentabilidade de áreas degradadas por esta atividade, além de outras, corroborando as abordagens inovadoras e soluções ambientalmente aceitáveis para os muitos desafios que enfrentamos hoje.

Desta forma, uma política extrafiscal que incentivasse o desenvolvimento industrial de biotecnologia de remoção de petroderivados desempenharia um papel significativo não só na esfera ambiental, mas também apresentaria alto potencial de promoção do desenvolvimento econômico, industrial e social. Assim, o uso destes instrumentos tributários influenciaria diretamente a atividade petrolífera, e todo um conjunto paralelo de empresas que compõem esta cadeia, bem como investidores e cidadãos. Além de robustecer as pesquisa e aprimoramento tecnológico.¹⁷⁵

Destarte, o incentivo fiscal através de extrafiscalidades poderia ser implementadas de vários modos, incluindo créditos tributários, deduções fiscais e isenções de impostos, obtendo significativa importância em estímulo à inovação, criação de empregos qualificados, atração de investimentos estrangeiros, desenvolvimento de setores estratégicos, desenvolvimento sustentável, crescimento econômico, melhoria da qualidade de vida, cumprimento de metas e políticas públicas, bem como outras qualificações.¹⁷⁶

Noutra perspectiva, países como Estados Unidos, Canadá e diversos países europeus já utilizam com sucesso técnicas de biorremediação de petroderivados através da utilização de bactérias, plantas, fungos, e enzimas que decompõem poluentes, principalmente de ambientes aquáticos e do solo, tornando-os mais seguros e saudáveis.¹⁷⁷

Assim, resta evidente a eficácia de sua aplicabilidade em diversas situações de contaminação, bem como o método em si, que garante um uso seguro, uma vez que ao serem os poluentes degradados, os microrganismos morrem por justamente nutrirem-se destes compostos, promovendo uma solução sustentável na restauração da área afetada.

¹⁷⁵ BLOOM, BLOOM, Nick; GRIFFITH, Rachel; VAN REENEN, John. *loc cit.*

¹⁷⁶ FREITAS, Juarez. O tributo e o desenvolvimento sustentável. *Novos Estudos Jurídicos*, v. 21, n. 3, p. 825-845, 2016

¹⁷⁷ ANDRADE, Juliano de Almeida; AUGUSTO, Fabio; JARDIM, Isabel Cristina Sales Fontes. p. 17-43, *loc cit.*

Outra área com significativo avanço a partir dos programas de incentivos fiscais para o uso de biotecnologia, foi a área de bioenergia, onde resíduos orgânicos são convertidos em energia sustentável, uma forma de energia renovável produzida a partir de recursos biológicos derivados de inúmeros compostos, plantas e materiais biodegradáveis. Esta fonte de energia desempenha um papel importante na transição para um sistema energético mais sustentável e reduz a dependência de combustíveis fósseis como biomassa, biocombustíveis, biogás, etanol e diesel.¹⁷⁸

Assim, a combinação de uma regulamentação governamental, lastreadas em uma infraestrutura desenvolvimentista sólida tem o condão de promover a inovação e aprimoramento das técnicas biotecnológicas atualmente existentes, o que maximiza os benefícios sociais e econômicos.

Esses casos de sucesso demonstram quão eficazes as extrafiscais podem ser na promoção de comportamentos e práticas mais sustentáveis. E que a sua junção com regulamentações ambientais rigorosas pode edificar uma mudança de paradigma do tocante ao enfrentamento dos desafios ambientais como as alterações climáticas e a conservação da biodiversidade, além da criação de empregos em indústrias “verdes”.

Dessa maneira, a questão da tributação extrafiscal como uma ferramenta de intervenção do Estado na sociedade destaca que muitos desses tributos não têm apenas a finalidade de arrecadação, mas também de influenciar o comportamento econômico e social, de modo a desenvolver políticas públicas do Estado. Tal questão recai na importância dos tributos ambientais, cuja motivação constitucional tem em vista a proteção do meio ambiente, mantendo-o ecologicamente equilibrado. Tomando em consideração o desenvolvimento sustentável e a promoção de técnicas ambientalmente adequadas, onde a legislação fiscal poderia onerar os poluidores que utilizam técnicas não limpas e conceder incentivos fiscais aqueles que adotam técnicas sustentáveis, como a biorremediação.¹⁷⁹

Em contrapartida, pelo escasso uso das técnicas de biorremediação, *in loco*, aqui abordadas, observa-se que a produção biotecnológica orbita mais na esfera

¹⁷⁸ NAIK, Satya Narayan; Goud, Vaibhav; DERROTA, Prasant; DALAI, Ajay. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 578-597. 2010.

¹⁷⁹ FERREIRA, Januário Justino; AGUIAR, Julio César de. O ministério público do trabalho na defesa da empregabilidade: viabilidade do controle judicial das contrapartidas das políticas públicas de incentivos fiscais. *Paradigma*, Ribeirão Preto, v. 26, n. 2, p. 276-300, dez. 2017.

acadêmica, que mesmo sendo desenvolvida em ambiente laboratorial, torna imprescindível a sua aplicabilidade prática. E, nesta seara, as questões burocráticas, normativas e financeiras envolvidas no processo justificam a dificuldade da autorização para pesquisas práticas dessas tecnologias no Brasil. Assim, são imprescindíveis mais estudos práticos acerca da biorremediação quando da ocorrência de um derramamento de petróleo, uma vez que, para além da ausência de uma política extrafiscal que desenvolva e amplie a utilização dessa tecnologia, necessário também se faz a edificação de outras políticas voltadas à sua execução, posto que ainda se mostram incipientes. Portanto, em um contexto que urge por ações ambientalmente sustentáveis, a temática necessita ser mais explorada a fim de possibilitar o desenvolvimento de iniciativas cada vez mais eficientes.^{180,181}

4.2 Políticas de incentivo fiscal no contexto brasileiro

A costa marítima brasileira possui uma extensão de 9.200 Km. O que traz à tona não apenas a sua dimensão, mas também a diversidade biológica que é responsável por um ambiente extremamente diversificado em comparação ao mundo, acomodando incontáveis espécies e ecossistemas. Porém, neste *habitat* tão incomparável, não repousam apenas uma rica flora e fauna marinhas, mas também uma grande reserva de petróleo e de gás natural.¹⁸²

Assim, em alta profundidade deste litoral, a aproximadamente mais de sete mil metros sob o nível do mar, e logo abaixo de uma extensa camada de sal que atinge até dois mil metros de espessura, é encontrado um petróleo de alta qualidade. No entanto a sua exploração, embora essencial como importante fonte de receita econômica, também traz graves riscos ambientais inerentes a ocorrência da própria atividade de extração, bem como transporte e manipulação. E nesta situação, danos devastadores poderão ser observados em extensas áreas, sendo praticamente impossível prever as consequências em todas as suas nuances.

¹⁸⁰ SEISDEDOS, Ana Paula Ganzaroli Martins. Incentivos fiscais na reciclagem de resíduos sólidos: a tributação ecológica e seu impacto no desenvolvimento econômico sustentável. 2015. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015.

¹⁸¹ SANTOS, Nivaldo dos; PADILHA, Norma Sueli; VIEIRA, Ricardo Stanzola. A biorremediação e a extrafiscalidade: a necessidade de uma legislação que incentive alternativas sustentáveis para a recuperação ambiental. In: Encontro virtual do conpedi, 4., 2021, Florianópolis. Direito ambiental, agrário e socioambientalismo II. Florianópolis: CONPEDI, 2021. p. 212-232.

¹⁸² BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro. 2019.

Por conseguinte, o histórico brasileiro na área petrolífera possui um rico, complexo e solidificado setor petroquímico que já atua no segmento há várias décadas, contando com bacias como a de Campos e de Santos, principais produtoras da região. Assim, o país é um dos líderes mundiais na exploração de petróleo em águas profundas e ultraprofundas, o que lhe dá vantagem quando se trata de novas descobertas de mananciais petrolíferos marinhos.¹⁸³

Esta exploração, embora traga inegáveis benefícios econômicos, também carrega desafios ambientais significativos relacionados a questões ambientais, éticas e tecnológicas, especialmente em termos de potenciais incidentes com petroderivados. Para além dos impactos ambientais, outros desafios enfrentados por esta atividade no país se baseiam na corrupção e escândalos, dependência de *commodities*, concentração de recursos, desafios técnicos e logísticos, transição energética, entre outros. Ademais, os benefícios giram em torno da receita fiscal significativa, criação de empregos, desenvolvimento tecnológico, balança comercial positiva, bem como no aumento da autossuficiência energética.¹⁸⁴

Ocorre que uma das consequências mais nocivas de um acidente marinho proveniente da atividade petrolífera repousa no fato de que o petróleo, além de seu alto teor tóxico, bloqueia a passagem da luz impossibilitando a produção da fotossíntese e impedindo o metabolismo das espécies marinhas potencializando a alta mortalidade da fauna e flora local. Ademais, se não for removido, esse material permanece por longos períodos no local do acidente ou, pior, pode migrar para qualquer outra área através das correntezas marinhas. E esse impacto pode afetar todo o ecossistema marinho se não for rapidamente contido, causando além da mortalidade já citada, a contaminação alimentar, impacto na biodiversidade, bem como também impactos em toda a sociedade.¹⁸⁵

E, diante deste cenário, no Brasil, ainda há uma carência de dispositivos legais que promovam incentivos fiscais para a redução da poluição por produtos petrolíferos no seu ambiente marinho. Ademais, alia-se a este fato a inclusão do setor em um cenário regulatório complexo, principalmente quando traz à luz todo um *lobby*

¹⁸³ MACHADO, João Durval de Oliveira Alves; CARVALHO, Rogerio Atem. Exploração de Petróleo no Brasil e Estados Unidos: história e relevância. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 5, p. 52499-52515, 2021.

¹⁸⁴ *Ibid.*

¹⁸⁵ LEHR, William; JONES, Robert; EVANS, Mary; SIMECEK-BEATTY, Debra; OVERSTREET, Roy. Revisions of the ADIOS Oil Spill Model. *Environmental Modelling & Software*, (17), 191-199. 2002.

político relacionado aos dispositivos legais ambientais e tributários inerentes à atividade. Assim, não existe uma lei específica que conceda incentivos fiscais especificamente para o desenvolvimento e aplicação de biotecnologia de remediação de áreas marinhas contaminadas por petroderivados, mas existem outros regulamentos e mecanismos legais que podem, analogamente, ser aplicados para esse fim. Tem-se como exemplo, a Lei de nº 11.196, de 21 de novembro de 2005¹⁸⁶, intitulada de Lei do Bem, que permite deduções fiscais para empresas que investem em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, incluindo áreas relacionadas à preservação ambiental.¹⁸⁷

Porém, mesmo com potencial de promoção de incentivos fiscais para a inovação tecnológica, a Lei do Bem limita-se, em seu art. 57-C¹⁸⁸, à comercialização de nafta petroquímica. Por conseguinte, os demais petroderivados não estão abarcados por esta norma.

Ademais, outros dispositivos legais ambientais podem tentar prover extrafiscaisidades que garantam cenários regulatórios, mas seguem sem direcionamento específico ao uso de biotecnologias de remoção de petróleo.

Assim, pontua-se a Lei de nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998¹⁸⁹, denominada de Lei dos Crimes Ambientais, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Neste

¹⁸⁶ BRASIL. Lei de nº 11.196, de 21 de novembro de 2005. Lei do Bem. *Institui o Regime Especial de Tributação para a Plataforma de Exportação de Serviços de Tecnologia da Informação - REPES, o Regime Especial de Aquisição de Bens de Capital para Empresas Exportadoras - RECAP e o Programa de Inclusão Digital; dispõe sobre incentivos fiscais para a inovação tecnológica.* Além de alterar diversos outros dispositivos legais.

¹⁸⁷ BRASIL. Relatório Anual de Atividades P&D 2015 da Lei do Bem. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTI.

¹⁸⁸ BRASIL. Lei de nº 11.196, de 21 de novembro de 2005. [...] Art. 57-C. *As centrais petroquímicas e as indústrias químicas que apurarem créditos na forma prevista nos arts. 57 e 57-A desta Lei deverão firmar termo no qual se comprometerão a: I - cumprir as normas de segurança e medicina do trabalho, de que trata o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho, aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943; II - apresentar todas as licenças, autorizações, certidões e demais atos administrativos dos órgãos competentes que atestem a conformidade com a legislação ambiental, inclusive, quando for o caso, o estudo de impacto hídrico, o programa de monitoramento da qualidade da água e do ar, o plano logístico de transporte e o estudo geológico da região; III - cumprir as medidas de compensação ambiental determinadas administrativa ou judicialmente ou constantes de termo de compromisso ou de ajuste de conduta firmado; IV - manter a regularidade em relação a débitos tributários e previdenciários; V - adquirir e a retirar de circulação certificados relativos a Reduções Verificadas de Emissões (RVE) de Gases de Efeito Estufa (GEE) em quantidade compatível com os indicadores de referência aplicáveis ao impacto ambiental gerado pelas emissões de carbono decorrentes de suas atividades, conforme regulamento; VI - manter em seus quadros funcionais quantitativo de empregados igual ou superior ao verificado em 1º de janeiro de 2022.*

¹⁸⁹ BRASIL. Lei de nº 9.605, de 21 de fevereiro de 1998. Lei de Crimes Ambientais. *Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.*

documento, o infrator cumprirá penas restritivas de direito. Porém, a ação ou omissão que viole as regras jurídicas de uso, gozo, promoção, proteção e recuperação do meio ambiente, é considerada apenas infração administrativa ambiental, que incide nas sanções acima listadas. Desta feita, percebe-se que não há incentivos fiscais passíveis de impulsionamento desenvolvimentista, principalmente no que se refere à produção biotecnológica para remediação de petroderivados.

Outra norma que pode auxiliar e propositura de programas extrafiscais é a Lei de nº 9.478, de 06 de agosto de 1997¹⁹⁰, conhecida como Lei do Petróleo, que regula a política energética nacional e as atividades relacionadas com o monopólio petrolífero, instituindo o Conselho Nacional de Política Energética e a Autoridade Nacional do Petróleo. Este dispositivo traz os princípios e objetivos da Política Energética Nacional, além de dispor de sua organização, funcionamento e estrutura, porém não regula ou incentiva programas tributários de isenção fiscal para boas práticas ambientais na produção, refino ou transporte de petróleo e derivados, tampouco aponta propostas de desenvolvimento biotecnológico para remediação.

É fácil perceber a necessidade de uma política extrafiscal clara, que não encontra respaldo em nenhuma legislação desde os primórdios da atividade petroleira no Brasil, com a criação da Petrobras, em 1953. Porém, é importante ressaltar as grandes transformações pelas quais o setor passou durante essas últimas décadas, onde facilmente são perceptíveis os incentivos para atrair investimentos e manter sua competitividade no cenário global.¹⁹¹

Uma das principais ferramentas de incentivo fiscal no setor de petróleo e gás é o regime aduaneiro especial de exportação e de importação de bens destinados às atividades de pesquisa e de lavra das jazidas de petróleo e gás natural – REPETRO, que foi instituído em 1999 e possui um regime aduaneiro especial de exportação e importação de bens destinados à exploração de petróleo e gás permitindo a suspensão de tributos federais na importação de equipamentos, desde que sejam reexportados após seu uso.

Esse regime faz parte de uma gama de medidas que visam o setor petrolífero, incluindo a questão política de conteúdo local. Entre as razões que

¹⁹⁰ BRASIL. Lei de nº 9.478, de 06 de agosto de 1997. Lei do Petróleo. *Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências.*

¹⁹¹ PETROBRAS. *loc cit.*

motivam os governos a estabelecer políticas direcionadas a um setor específico, como o petróleo e o gás, são as expectativas que impulsionam o desenvolvimento do país, uma vez que tais medidas podem ter um impacto externo positivo não só na economia, com também no aumento da produção nacional e, portanto, do PIB, bem como para a sociedade, com a geração de emprego e renda. Porém deve-se destacar a existência de impactos em outras áreas, especialmente na arrecadação de impostos.¹⁹²

O REPETRO foi criado, portanto, com o propósito de incentivar empresas e prestadores de serviços estrangeiros acerca dos proprietários de áreas de serviços e/ou franquias, autorizando a realização de atividades de pesquisa e a exploração de campos de petróleo no Brasil, com a obtenção de bens, equipamentos, peças sobressalentes, objetos úteis, utilizando ferramentas legais de exportação ficta, admissão temporária e *drawback* de devoluções. Com efeito, o REPETRO é uma ferramenta que estende a outros operadores do mercado algumas das vantagens consagradas da Petrobras.

Além dos *royalties* pagos pelas empresas exploradoras de petróleo, campos com grande volume de produção ou alta rentabilidade também estão sujeitos ao pagamento de Participações Especiais (PE) à União, conforme dispõe a Lei do Petróleo, que foi criada para assegurar uma compensação adicional à sociedade brasileira pela exploração de reservas mais lucrativas. Porém este programa não inclui em suas ferramentas determinações que promovam incentivos fiscais para o desenvolvimento de tecnologias promotoras de biorremediação da atividade petroleira.

Nessa toada, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), estabelece através da Resolução ANP de nº 33, de 24 de novembro de 2005, que as empresas de exploração e produção de petróleo e gás natural invistam parte de sua receita bruta em atividades de pesquisa e desenvolvimento no Brasil. Este incentivo visa impulsionar a inovação tecnológica e desenvolver o setor nacional de bens e serviços.¹⁹³

Assim, percebe-se que embora os incentivos fiscais tenham promovido a expansão e o desenvolvimento do setor petroleiro no Brasil, eles também geraram

¹⁹² DELGADO, Fernanda; CALS, Mariana. Considerações sobre o cenário petrolífero brasileiro: o Repetro e suas recentes alterações. 2018.

¹⁹³ OTHON, Adriano de Oliveira. A regulação do investimento em inovação tecnológica e o direito de propriedade intelectual no setor petrolífero brasileiro. Revista Direito e Liberdade, v. 5, n. 1, p. 33-62, 2009.

debates. Críticos argumentam que esses incentivos resultam em perdas significativas de receita para o governo. Além disso, a dependência do petróleo, reforçada por incentivos, pode ser contraproducente em um mundo em transição energética, onde fontes renováveis estão ganhando relevância.

Ademais, esses incentivos, que mesmo sendo impulsionadores do desenvolvimento tecnológico direcionado a produção petrolífera, em nada se destacam quanto à possibilidade de evolução dos processos de mitigação dos efeitos nocivos da atividade em águas marinhas brasileiras, que parecem ficar à margem do interesse regulamentar.

Portanto, é fácil observar que os incentivos fiscais desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento da indústria petrolífera no Brasil, atraindo investimentos e impulsionando a pesquisa e a inovação. No entanto, é vital que esses incentivos sejam continuamente revisados e adaptados para alinhar os interesses de curto prazo da indústria com as metas de longo prazo do país, especialmente em relação à sustentabilidade e à diversificação energética.¹⁹⁴

O petróleo, enquanto fonte de energia de origem mineral das mais importantes, está interseccionada diretamente com o desenvolvimento econômico. Sendo sua exploração, inclusive, abarcada nos objetivos fundamentais do país que versam sobre a garantia do desenvolvimento nacional, no qual o mercado interno integra patrimônio nacional, incentivando-o de modo a permitir o desenvolvimento cultural, socioeconômico, o bem-estar populacional e a postura autônoma tecnológica em nível nacional.¹⁹⁵

A atividade petrolífera exerce, portanto, relevância para o interesse coletivo, especialmente no que tange o desenvolvimento das potencialidades nacionais, além de garantir a necessária soberania da nação. Diante disso, esse combustível fóssil, de certa forma já tido como escasso, pode ser considerado como parte do patrimônio nacional irrenunciável.

Assim, deixando de lado a importância econômica interposta pela indústria petrolífera, ainda permanece aquém as necessárias expectativas fiscais e tributárias

¹⁹⁴ MICHELETTI, Igor Talarico Da Silva *et al.* Energia solar, extrafiscalidade e políticas públicas na promoção ao desenvolvimento sustentável. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 6, p. 58659-58680, 2021.

¹⁹⁵ CLÈVE, Clèmerson Merlin; MARTINS, Alessandra Ferreira. Princípios constitucionais da atividade econômica petrolífera e Lei nº 9.478 de 1997. *A&C-Revista de Direito Administrativo & Constitucional*, v. 4, n. 18, p. 43-50, 2007.

direcionadas à promoção de uma política de desenvolvimento biotecnológico que atue com ênfase nos processos de biorremediação marinha, de modo a conferir um tratamento mais benigno e menos prejudicial às condutas da atividade petrolífera com o objetivo de preservação do meio ambiente e, desempenhando ações de caráter restaurativo dos danos ambientais já verificados. Desta maneira, o tributo cumprirá a sua finalidade extrafiscal intervindo, por viés econômico e fiscal, na preservação ambiental.¹⁹⁶

4.3 Incentivos fiscais para a indústria petrolífera versus política extrafiscal para processos de biorremediação de petroderivados no litoral brasileiro

Como contribuição à indústria de petróleo e gás, que são fundamentais à economia brasileira na promoção do seu desenvolvimento, os incentivos fiscais têm sido uma ferramenta utilizada para moldar o crescimento e competitividade do setor. Com o início das atividades da Petrobras, iniciou-se também o monopólio estatal sobre a exploração e produção de petróleo no Brasil. Porém, na década de 1990, o mercado foi aberto à competição e a Lei do Petróleo foi introduzida no Brasil, sinalizando uma mudança de paradigma. Isso acirrou a necessidade de incentivos fiscais para atrair investimentos estrangeiros e manter a indústria nacional competitiva.

Regimes como o REPETRO, que oferecem isenção de tributos na importação de equipamentos para exploração de petróleo e gás, têm sido importantes instrumentais na atração de investimentos. Esse tipo de incentivo reduz os custos operacionais para as empresas, tornando o Brasil mais atraente em comparação com outras jurisdições.¹⁹⁷

O requisito da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP de investimento em pesquisa e desenvolvimento por empresas de exploração e produção de petróleo e gás incentiva a inovação tecnológica. Isso pode ter como efeito o fortalecimento da indústria nacional de bens e serviços, fomentando a pesquisa e formação técnica e científica.¹⁷¹

¹⁹⁶ RIBEIRO, Maria de Fátima; SILVA, Suzana Tavares. Trajectórias de Sustentabilidade. Tributação e Investimento. Coimbra: Coimbra ed., 2014.

¹⁹⁷ DELGADO, Fernanda; CALS, Mariana. *loc cit.*

Ademais, a Lei de Participações Especiais (PE) garante que campos de petróleo altamente produtivos ou lucrativos remunerem adequadamente a sociedade brasileira. Essa medida não apenas garante uma fonte adicional de receita ao Estado, mas também alinha a exploração de recursos naturais ao bem-estar geral da nação.

Frequentemente existem críticas que apontam que incentivos fiscais, como o REPETRO, podem resultar em perda de receitas significativas para o Estado. Essa perda pode ser especialmente dolorosa em momentos de crises econômicas, onde recursos públicos são mais necessários. Em outro ponto de vista, o forte incentivo a um setor pode levar a uma economia excessivamente dependente.¹⁹⁸

Assim, com o crescente foco global em energias renováveis, o Brasil poderá se encontrar em uma posição vulnerável se continuar excessivamente dependente dos petroderivados. Logo, os incentivos à indústria do petróleo podem também ser vistos como um desincentivo à busca por fontes de energia mais limpas e sustentáveis, o que pode não estar alinhado com as metas ambientais globais de redução de emissões de carbono.¹⁹⁹

Além desse ponto, e apesar da indústria petrolífera ter passado por um processo evolutivo e tecnológico de expansão, não se pode desconsiderar os eventuais riscos de sua atividade, principalmente em ambientes tão sensíveis e delicados como o marinho, que em caso de incidente, não detém capacidade de regeneração em curto prazo. Daí a real importância do uso de processos biotecnológicos que promovam a biorremediação de forma assertiva, eficaz e célere.

Destarte, o desenvolvimento de tecnologias com essas características ainda se encontra, mesmo que sob a expansão acadêmica, aquém da necessidade quando considerada a capacidade de produção petrolífera. Assim, não restam dúvidas quanto a exigência de incentivos extrafiscais ao desenvolvimento de biotecnologias de remoção e biorremediação de petroddivados do ambiente marinho.

Deste modo, observa-se que os incentivos fiscais têm sido vitais para o crescimento e desenvolvimento da indústria petrolífera brasileira, trazendo investimentos, tecnologias e empregos para o país. No entanto, é fundamental que

¹⁹⁸ DELGADO, Fernanda; CALS, Mariana. *loc cit.*

¹⁹⁹ COSTA, Fernando José Pereira; RODRIGUES, Manoel Gonçalves. Planejamento estratégico, energias limpas e alterações climáticas no contexto da mudança de paradigmas. *Revista Internacional de Ciências*, v. 2, n. 2, p. 2-13, 2012.

sejam constantemente revisados e adaptados para equilibrar os interesses econômicos de curto prazo com as necessidades ambientais de longo prazo.²⁰⁰

Nesse contexto, uma política extrafiscal eficaz faria uso de instrumentos tributários que também teriam a capacidade de ampliar a produção e desenvolvimento, tanto acadêmico quanto industrial, de potenciais novos agentes biológicos de remediação e regeneração de ambientes impactados por petroderivados. Assim, cumprir-se-ia seus objetivos não fiscais, mas regulatórios, sociais ou econômicos. E nesse contexto, a indústria biotecnológica brasileira para processos de remoção de petroderivados ainda está na vanguarda desse tipo de tecnologia, bem como na capacidade de regular e influenciar o comportamento dos agentes econômicos envolvidos.

A extrafiscalidade no setor petrolífero brasileiro representa uma ferramenta poderosa na mão do Estado para guiar e influenciar o desenvolvimento do setor. No entanto, para que essa ferramenta seja eficaz, é essencial uma implementação criteriosa, transparente e adaptada às mudanças no cenário energético global. O equilíbrio entre objetivos fiscais e extrafiscais é vital para garantir tanto o crescimento econômico quanto ao bem-estar social e ambiental.

Por outro lado, mesmo que essa importância deva ser considerada essencial ao desenvolvimento nacional, não se pode desconsiderar os impactos ambientais dessa atividade. Sendo condição *sine que non* a exigência de medidas rigorosas de prevenção e remediação, tanto no financiamento de prevenção de acidentes como, no caso de ocorrência destes, um processo biotecnológico eficiente de remediação ambiental.

E considerando que o financiamento da atividade econômica petrolífera vem principalmente de investimentos diretos, sejam eles nacionais ou estrangeiros, bem como do reinvestimento de lucros, uma ação no sentido de promoção de desenvolvimento biotecnológico seria o uso dessas políticas para os processos de remediação como propostas de desenvolvimento sustentável da atividade.

Assim, dentre taxas, multas e outros instrumentos fiscais aplicados para desestimular comportamentos prejudiciais ao meio ambiente e incentivar práticas

²⁰⁰ BARBOSA, Lena Marina Moreira Puga. A aplicabilidade dos incentivos fiscais como instrumento da política nacional de resíduos sólidos: uma análise sobre avanços e desafios no município de Manaus. 2017. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito Ambiental, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2017.

sustentáveis, poder-se-ia adicionar o uso de isenções tributárias em parceria com os centros de biotecnologia nacionais para o desenvolvimento de novos agentes com potenciais de remoção de petroderivados do ambiente marinho.

Imperioso também deixar claro que porquanto o financiamento da atividade petroleira busca maximizar a produção e lucratividade, a extrafiscalidade ambiental direcionada ao desenvolvimento de novas biotecnologias de remoção e remediação desta atividade tentaria equilibrar esta maximização com os impactos ambientais. Em outra toada, a contínua dependência do financiamento pode agravar os riscos ambientais, enquanto a extrafiscalidade, quando bem aplicada, poderia incentivar o desenvolvimento tecnológico.

Ambos os instrumentos enfrentam desafios. A instabilidade global dos preços do petróleo pode afetar o financiamento, enquanto a eficácia da extrafiscalidade para produção biotecnológica depende de uma implementação e fiscalização adequadas. Diante desse cenário, o financiamento da atividade econômica petroleira e a extrafiscalidade ambiental de novas biotecnologia de remoção de petroderivados representam dois lados de uma moeda. Ambos são essenciais para o desenvolvimento sustentável da indústria petroleira, mas é fundamental que sejam equilibrados para garantir, em paralelo, a proteção ambiental e a viabilidade econômica.

Nesse sentido, a literatura aponta que há considerável portfólio de estudos relacionados às biotecnologias desempenhando o papel de remediadores em áreas contaminadas, que atuam positivamente para os seus efetivos resultados. Porém, as regulamentações em vigor atualmente impõem requisitos específicos que têm o potencial de tornar a autorização, comercialização, importação e pesquisa de biorremediadores um processo burocrático, findando no desencorajamento do uso dessa tecnologia.²⁰¹

Embora técnicas de biorremediação já sejam difundidas e muito utilizadas globalmente, destacando-se a liderança da China em patentes de produtos fitorremediadores, o Brasil, apesar de sua rica biodiversidade e alta produção de agentes capazes de promover processos biorremediadores, enfrenta obstáculos quanto a uma política de incentivo ao seu uso e produção quando da ocasião de acidentes ambientais com derramamento de petroderivados. Com base nisso, fica

²⁰¹ MALAJOVICH, Maria Antonia. *loc cit.*

evidente a necessidade de um estímulo de produção, em escala industrial, desses agentes para uso em situações de necessidade ambiental.

5 CONCLUSÃO

Diante do cenário explorado no presente estudo, foi possível compreender a significativa evolução do direito ambiental no Brasil, bem como a sua incorporação ao ordenamento jurídico. O país tem adotado, portanto, uma abordagem progressiva quanto ao assunto, sendo refletida por meio de regulamentos, decretos e leis que estabelecem a proteção do meio ambiente como um princípio fundamental e prevê a extrafiscalidade como um instrumento para atingir esse objetivo. Tal evolução foi impulsionada por uma crescente conscientização sobre a importância da preservação ambiental, bem como um acompanhamento de propostas em nível global acerca da problemática.

Nesse sentido, destaca-se a extrafiscalidade como um instrumento fundamental de proteção ambiental no Brasil, permitindo que o Estado incentive práticas ambientalmente responsáveis e mais sustentáveis e, junto a isso, a realização de ações que desincentivem práticas prejudiciais por meio de políticas tributárias e fiscais.

Como exposto anteriormente, o conceito de extrafiscalidade refere-se ao uso de instrumentos tributários com objetivos que vão além da mera arrecadação de receitas, abordando aspectos regulatórios, sociais ou econômicos. No Brasil, os instrumentos extrafiscais são comumente empregados em contextos ambientais, assegurando que as empresas internalizem os custos ambientais de suas operações.

Nesse contexto, a indústria petrolífera é essencial a política econômica e social brasileira, uma vez que promove riquezas e desenvolvimento industrial e tecnológico. Porém, em que pesem as normatizações nacionais acerca do tema, ainda se percebe que a atividade dessa indústria impõe um grave risco ambiental, que mesmo com toda a segurança adquirida em seu processo evolutivo, não são capazes de evitar acidentes na produção de petroderivados.

Nesse sentido, os processos biotecnológicos de remediação desses compostos são essenciais como poderosas ferramentas de regeneração do ambiente, principalmente marinho, que são a principal fonte de extração do petróleo. Tornando-se, esses agentes de remoção, como anexos principais dessa complexa atividade.

Assim, no contexto da biorremediação de derivados do petróleo em ambientes marinhos, os processos bióticos têm se mostrado como a alternativa mais eficaz quando comparado aos mecanismos abióticos, uma vez que fazem uso de

microrganismos com maior capacidade adaptativa. Isso, por si só, justifica uma política extrafiscal como ferramenta crucial na promoção e desenvolvimento de inovações tecnológicas para a biorremediação, sendo necessário junto a isso uma análise da eficácia de políticas que envolvem a preservação ambiental, permitindo que sejam alcançados todos os seus objetivos de proteção ambiental.

Em relação à biorremediação de petroderivados especificamente no litoral brasileiro, várias legislações e regulamentos abordam a proteção do meio ambiente marinho e a prevenção da poluição por petróleo, porém nenhum é capaz de solidificar o incentivo à produção de biotecnologias capazes de promover a remediação desses compostos de forma eficaz *in loco* quando necessário.

Por fim, embora ainda não haja um instrumento extrafiscal específico voltado exclusivamente ao desenvolvimento biotecnológico para a biorremediação de petroderivados no litoral brasileiro, a estrutura regulatória existente estabelece incentivos indiretos à adoção de tais práticas. No entanto, esta ausência não estimula nem favorece o desenvolvimento de novas pesquisas no cenário brasileiro, e tampouco os meios atualmente existentes de remediação ambiental são empregados de forma célere quando necessários, quer seja pela indústria extrativista ou por ação governamental.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, Godleads Omokhagbor; FUFYIN, Prekeyi Tawari; OKORO, Samson Eruke; EHINOMEN, Igelenyah. Bioremediation, biostimulation and bioaugmentation: a review. **International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation**. v. 3, n. 1, p. 28-39, 2015.
- ALBUQUERQUE, Roberto Chacon. A reforma tributária ecológica alemã. **Revista da Faculdade de Direito**, São Paulo, v. 98, p. 137-156, jan. 2003.
- ALEXANDER, Martin. **Biodegradation and bioremediation**. 2 edition. Academic Press. USA. 1999. 435p.
- ALMEIDA, Francisco Carlos Ribeiro. A renúncia de receita como fonte alternativa de recursos orçamentários. **Revista do TCU**, n. 88, p. 54-65, 1988.
- ALSHAMMARI, Jadea; GAD, Fátima; ELGIBALY, Ahmed; KHAN, Abdul Rehman. Solid waste management in petroleum refineries. **American Journal of Environmental Sciences**. n. 4, p. 353-361, 2008.
- ANDRADE, Daniel Caixeta; ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Degradação ambiental e teoria econômica: algumas reflexões sobre uma “economia dos ecossistemas”. **Revista Economia**. v. 12, n. 1, p3-26, jan-abr. 2011.
- ANDRADE, José Célio Silveira; MARINHO, Márcia Mara de Oliveira; KIPERSTOK, Asher. Uma política nacional de meio ambiente focada na produção limpa: elementos para discussão. **Bahia Análise e Dados**, v. 10, n. 4, p. 326-332, 2001.
- ANDRADE, Juliano de Almeida; AUGUSTO, Fabio; JARDIM, Isabel Cristina Sales Fontes. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética química**. v. 35, p. 17-43, 2010.
- AREIAS, Elisa dos Santos. **Estudo da extrafiscalidade dos tributos para redução de impactos ambientais**. 2020. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito, Faculdade Nacional de Direito – FND, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, RJ, 2020.
- ASSUNÇÃO, Marcus Vinicius Dantas. **O estudo da eficiência ambiental dos campos onshore das bacias costeiras brasileiras na perspectiva da água produzida de petróleo**. 2018. 207 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, 2018.
- ATLAS, Ronald; PHILP, Jim. **Bioremediation: Applied microbial solutions for real-world environmental cleanup**. ASM Press, 2005.
- ATLAS, Ronald; UNTERMAN, Rebeca. Bioremediation. **Chem. Eng. News**, v. 73, n. 14, p. 32-42, 1995.
- AYOTAMUNO, Josiah.; OKPARANMA, Reuben; NWENEKA; OGAJI, Stephen; PROBERT, Sydney Douglas. Bio-remediation of a sludge containing hydrocarbons.

Applied Energy. n. 84, p. 936-943, 2007.

BABOROVÁ, Petra; MÖDER, Monika; BALDRIAN, Petr; CAJTHAMLOVÁ, Kamila; CAJTHAML, Tomás. Purification of a new manganese peroxidase of the white-rot fungus *Irpex lacteus*, and degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by the enzyme. **Research in Microbiology**. 2006. 157 (3): 248-253.

BAPTISTA, Sandro; CAMMAROTA, Magali Christie; FREIRE, Denise. **Avaliação da bioestimulação em solos argilosos contaminados com petróleo**. In: Congresso Brasileiro de PandD em Petróleo and Gás. 2003. p. 267.

BARBOSA, Lena Marina Moreira Puga. **A aplicabilidade dos incentivos fiscais como instrumento da política nacional de resíduos sólidos**: uma análise sobre avanços e desafios no município de Manaus. 2017. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito Ambiental, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2017.

BERTOLAZI, Amanda; CANTON, Gabriela; AZEVEDO, Inga; CRUZ, Zilma; SOARES, Daniela; CONCEIÇÃO, Juliana; SANTOS, Wolmen; RAMOS, Alessandro. O papel das ectomicorrizas na biorremediação de metais pesados no solo. **Natureza on line**, Santa Teresa, v. 8, n. 1, p. 24-31, 2010.

BLANCHET, Luiz Alberto; OLIVEIRA, Edson Luciani. Tributação da energia no Brasil: necessidade de uma preocupação constitucional extrafiscal e ambiental. **Seqüência: Estudos Jurídicos e Políticos**. Florianópolis, v. 35, n. 68, p. 159-188, jun. 2014.

BLOOM, Nick; GRIFFITH, Rachel; VAN REENEN, John. Do R&D tax credits work? Evidence from a panel of countries 1979-1997. **Journal of Public Economics**, 85(1), 1-31. 2002.

BOBBIO, Noberto. **Era dos direitos**. Elsevier Brasil. 2004

BOIX, Rodolfo Rubén Salassa. La protección ambiental a partir del derecho fiscal. In: **La investigación jurídica en políticas públicas ambientales**. (Org.) JULIÁ, Marta Susana; ULLA, María Carolina; BOIX, Rodolfo Rubén Salassa. 1. ed. Unquillo: Narvaja Editor, 2014. p. 30.

BOFF, Salete Oro; BOFF, Vilmar Antônio. Extrafiscalidade tributária como política pública voltada à sustentabilidade socioambiental. **RJLB**. Ano 7, n. 5, 2149-2171. 2021.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Rio de Janeiro. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2019/2019-anuario-versao-impressao.pdf>. Acesso em: 09 set. 2023.

_____. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, [1988] 2016. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_201

6.pdf. Acesso em: 10 set. 2023.

_____. Decreto nº 8.127, de 22 de outubro de 2013. **Plano Nacional de Contingência – PNA**. Dispõe sobre o Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional. Diário Oficial da União. Brasília, 2013. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/413480#:~:text=INSTITUI%20O%20PLANO%20NACIONAL%20DE,2002%2C%20E%20DA%20OUTRAS%20PROVIDENCIAS.&text=MEIO%20AMBIENTE%20%2C%20POLUI%C3%87%C3%83O%20MARINHA%20>. Acesso em: 10 set. 2023.

_____. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. Diário Oficial da União. Brasília, 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 10 set. 2023.

_____. Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997. **Lei do petróleo**. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm. Acesso em: 10 set. 2023.

_____. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Lei de Crimes Ambientais**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em: 10 set. 2023.

_____. Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000. **Lei do Óleo**. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9966.htm#:~:text=LEI%20No%209.966%2C%20DE%2028%20DE%20ABRIL%20DE%202000.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20preven%C3%A7%C3%A3o%20C%20o,nacional%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs. Acesso em: 12 set. 2023.

_____. Lei nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996. **Lei da Propriedade Territorial Rural – ITR**. Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural - ITR, sobre pagamento da dívida representada por Títulos da Dívida Agrária e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 out. 1966. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l5172compilado.htm. Acesso em: 14 out. 2023.

_____. Relatório Anual de Atividades P&D 2015 da Lei do Bem. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTI. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/lei-do-bem/arquivo/relatorio-p-d/relatorio-anual-lei-11-196-05-ano-base-2015.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

_____. Lei Complementar de nº 101, de 04 de maio de 2000. **Lei de Responsabilidade Fiscal**. Estabelece normas de finanças públicas voltadas para a

responsabilidade na gestão fiscal e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 out. 1966. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp101.htm. Acesso em: 14 out. 2023.

BRITO, Allany Cecília Siqueira; CARVALHO, Clara Zafira Oliveira Nunes; BORBA, Claudio. Prevenção de acidentes ambientais em plataformas offshore. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas**, UNIT-SERGIPE, v. 3, n. 2, p. 105-120, 2016.

BUCCI, Maria Paula Dallari. O conceito de política pública em direito. In: **Políticas públicas: reflexões sobre o conceito jurídico**. (Org.) BUCCI, Maria Paula Dallari. São Paulo: Saraiva, 2006.

CALIENDO, Paulo. Tributação e ordem econômica: os tributos podem ser utilizados como instrumentos de indução econômica? **Revista Direitos Fundamentais & Democracia**, Curitiba, v. 20, n. 20, p. 193-234, jul./dez. 2016.

CARDOSO, José Eduardo Taddei. **Avaliação de técnicas de remediação em processos de contaminação da água e do solo por hidrocarbonetos**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Bauru, São Paulo, 2018.

CARVALHO, Edson Ferreira. **Meio ambiente como patrimônio da humanidade**. Curitiba: Juruá, 2008.

CARVALHO, Paulo de Barros. **Curso de direito tributário**. 31. ed. São Paulo: Noeses, 2021.

CAVALCANTE, Denise Lucena. O papel da tributação ambiental em prol do desenvolvimento sustentável. In: OLIVEIRA, Daniela Olimpio de; GOMES, Pryscilla Régia de Oliveira (Org.). **Tributação e sociedade: sob perspectiva de mulheres tributaristas**. São Paulo: Editora Dialética, 2023, p. 45-60.

CAVALCANTE, Denise Lucena; CALIENDO, Paulo. Extrafiscalidade no âmbito da indústria alimentar: reflexos no consumo de refrigerantes. In: **Tributação de bebidas adoçadas: extrafiscalidade em prol da saúde**. CALIENDO, Paulo; CAVALCANTE, Denise Lucena; CATARINO, João Ricardo (Orgs.). Porto Alegre: Editora Fundação Fênix, 2022.

CAVALCANTI, Clovis. **Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas**. 2. ed. São Paulo: Cortez; Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 1999.

CHEN, Chuncheng; MA, Wanhong; ZHAO, Jincal. Semiconductor-mediated photodegradation of pollutants under visible-light irradiation. **Chemical Society Reviews**, v. 39, n. 11, p. 4206-4219, 2010.

CHIROLEU-ASSOULINE, Mireille. La fiscalité environnementale en France peut-elle devenir réellement écologique? État des lieux et conditions d'acceptabilité. **Revue de l'OFCE**, vol. 139, no. 3, 2015, pp. 129-165.

CLÈVE, Clèmerson Merlin; MARTINS, Alessandra Ferreira. Princípios constitucionais da atividade econômica petrolífera e Lei nº 9.478 de 1997. **A&C-Revista de Direito Administrativo & Constitucional**, v. 4, n. 18, p. 43-50, 2007.

COSTA, Fernando José Pereira; RODRIGUES, Manoel Gonçalves. Planejamento estratégico, energias limpas e alterações climáticas no contexto da mudança de paradigmas. **Revista Internacional de Ciências**, v. 2, n. 2, p. 2-13, 2012.

CRUZ, Geórgia Gomes. **Tratamento biológico de óleo diesel por consórcio fúngico**. 2017. 114 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

CUNHA, Cláudia Duarte; LEITE, Selma Gomes Ferreira. Gasoline biodegradation in different soil microcosms. **Brazilian Journal of Microbiology**. v. 31 (1). Mar, 2000. p. 41-49.

DAS, Nilanjana, CHANDRAN, Preethy. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview. **Biotechnology Research International**, v. 11 (1). Set, 2011.

DELGADO, Fernanda; CALS, Mariana. **Considerações sobre o cenário petrolífero brasileiro**: o Repetro e suas recentes alterações. Caderno Opinião – FGV Energia. Rio de Janeiro. 2018.

DEMORE, João Pedro. **Aspectos sedimentares do estuário da lagoa dos patos e sua interação com a poluição por petróleo**: subsídios para um plano de contingência. 2001. 52 f. Monografia (Especialização) - Curso de Oceanografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2001.

DERANI, Cristiane. **Direito ambiental econômico**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2008.

DERANI, Cristiane; SOUZA, Kelly Schaper Soriano. Instrumentos econômicos na política nacional do meio ambiente: por uma economia ecológica. **Veredas do Direito**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 19, p. 247-272, jun. 2013.

DINIZ, Maria Helena. **Conflito de Normas**. Ed. Saraiva, 10ª edição. 2014.

DOMINGUES, José Marcos. **Direito Tributário e Meio Ambiente**. 3. ed. Rio de Janeiro: Forense, 2007.

EFRAIM, Rosely da Silva; MURTA, Antônio Carlos Diniz. **Atos de improbidade na Lei de Responsabilidade Fiscal**. I. Congresso Nacional do CONPEDI – UFMG/FUMEC/Dom Helder Câmara. 25. 2015: Belo Horizonte, MG.

FERREIRA, Carolina Iwancow. Proteção ambiental e seus reflexos econômicos no direito tributário brasileiro. **Revista da Faculdade de Direito da Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte, n. 67, p. 125-149, jul./dez. 2015.

FERREIRA, Januário Justino; AGUIAR, Julio César. O ministério público do trabalho

na defesa da empregabilidade: viabilidade do controle judicial das contrapartidas das políticas públicas de incentivos fiscais. **Paradigma**, Ribeirão Preto, v. 26, n. 2, p. 276-300, dez. 2017.

FIGUEIREDO, Marcelo Gonçalves; ALVAREZ, Denise; ROTENBERG, Lúcia; ADAMS, Ricardo Nunes. The Deepwater Horizon oil rig accident, 12 years later: analysis focusing on the collective dimension of work and the organizational factors. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 38, n. 12, p. 1-16, 2022.

FIORILLO, Celso Antônio Pacheco; FERREIRA, Renata Marques. **Direito Ambiental Tributário**. 3. ed. São Paulo, 2010.

FONTENELLE, Miriam. Aspectos da política nacional do meio ambiente: o estudo de impacto ambiental como instrumento preventivo da gestão ambiental. **Revista da Faculdade de Direito de Campos**, v. 5, n. 5, p. 271-302, 2004.

FREITAS, Juarez. O tributo e o desenvolvimento sustentável. **Novos Estudos Jurídicos**, v. 21, n. 3, p. 825-845, 2016.

FURINI FILHO, Roberto. **As Empresas de Petróleo e as Mudanças Climáticas: uma avaliação das ações da petrobras**. 2009. 343 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

GADD, Geoffrey Michael. Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 84, n. 1, p. 13-28, 2009.

GAYLARDE, Christine Claire; BELLINASSO, Maria de Lourdes; MANFIO, Gilson Paulo. Biorremediação. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 34, p. 36-43, 2005.

GARCIA, Katia; LA ROVERE, Emilio Lèbre. **Petróleo: acidentes ambientais e riscos à biodiversidade**. 1 ed., Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

GIASSON, Moara Menta. **A compensação ambiental e os instrumentos da política nacional de meio ambiente**. 2015. 112 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015.

GOMES, Edelvio de Barros. **Biodegradabilidade de querosene de aviação movimentado pelo Terminal Portuário de Suape-PE**. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biotecnologia de Produtos Bioativos, Departamento de Antibióticos, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 2014.

GUIMARÃES, Marco Cesar; GAMA FILHO, Reubes Valério; CORREIA, Vitor Guimarães. Biotecnologia e desenvolvimento sustentável no Brasil. **Revista Visões**. vol. 1, n. 4, Jan/Jun 2008.

GUSTI, Lorenzo. A review of waste management practices and their impact on human health. **Waste Management**. n. 29, p. 2227-2239, 2009.

HARAYAMA, Shigeaki; KASAI, Yuri; AKIHIRO, Hara. Microbial communities in oil-contaminated seawater. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 15, n. 3, p. 205-214, 2004.

HAMILTON, James. Causes and Consequences of the Oil Shock of 2007-08. **Brookings Papers on Economic Activity**, Spring 2009.

HEIDARZADEH, Nima.; GITIPOUR, Saeid; ABDOLI, Mohsen. Characterization of oily sludge from a Tehran oil refinery. **Waste Management & Research**. n. 28, p. 921-927, 2010.

JAFELICE, Domingos. A eterna crise global provocada pelo preço do petróleo. **Polímeros**, São Paulo, v. 10, n. 4, p. 4-5, dez. 2000.

JAPIASSÚ, Carlos Eduardo; GUERRA, Isabella Franco. 30 anos do relatório Brundtland: nosso futuro comum e o desenvolvimento sustentável como diretriz constitucional brasileira. **Revista de Direito da Cidade**. v. 9, n. 4, p. 1884-1901, 2017.

JERÔNIMO, Carlos Henrique; FERNANDES, Hermano Gomes; MELO, Hênio Normando Souza; SOUZA, João Fernandes. Bioaumentação para degradação de efluentes do processamento da castanha de caju. **HOLOS**, v. 3, p. 47-59, 2012.

JUNQUEIRA, Paula Gomes. **Estudo geofísico em área contaminada por diesel no município de Cerquilha (SP)**. 2017. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista – UNESP, São Paulo, 2017.

LADISLAO, Antizar. Environmental levels, toxicity and human exposure to tributyltin (TBT)-contaminated marine environment. A review. **Environment International**. n. 34, p. 292-308, 2008.

LEAHY, Joseph; COLWELL, Rita. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. **Microbiological Reviews**, 54(3), 305-315. 1990.

LEHR, William; JONES, Robert; EVANS, Mary; SIMECEK-BEATTY, Debra; OVERSTREET, Roy. Revisions of the ADIOS Oil Spill Model. **Environmental Modelling & Software**, (17), 191-199. 2002.

LELIEVELD, Jos; EVANS, João; GIANNADAKI, Despina; POZZER, Andréa. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. **Nature**, 525(7569), 2015, pp. 367-371.

LIMA, Gabriela Garcia Batista. O conceito de governança global do desenvolvimento sustentável no estudo da efetividade da norma jurídica: reflexões epistemológicas. **Nomos – Revista do Programa de Pós-Graduação em Direito da UFC**. v. 32.2, jul/dez. 2012.

LOURENÇO, Rafael André; COMBI, Tatiane; ALEXANDRE, Marcelo da Rosa;

SASAKI, Silvio Tarou; ZANARDI-LAMARDO, Eliete; YOGUI, Gilvan Takeshi. Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019–2020): Trying to find answers and filling data gaps. **Marine Pollution Bulletin**, v. 156, SP (111219), 2020.

LOXHAM, Matthew; DAVIES, Donna e; HOLGATE, Stephen T. The health effects of fine particulate air pollution. **Bmj**, 367, 27 nov. 2019.

MACEK, Tomas; MACKOVA, Martina, KAS, Jan. Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation. **Biotechnology Advances**, v. 18, n. 1, p. 23-34, 2000.

MACHADO, Eduardo Luiz. **Economia de baixo carbono**: avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas. São Paulo: Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono, 2012. 105 p.

MACHADO, João Durval de Oliveira Alves; CARVALHO, Rogerio Atem. Exploração de Petróleo no Brasil e Estados Unidos: história e relevância. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 52499-52515, 2021.

MALAJOVICH, Maria Antonia. **Biotecnologia**. Rio de Janeiro: Biblioteca Max Feffer, 2012. 320 p.

MALLMANN, Viviane; ARAGÃO, Lucas Wagner Ribeiro; FERNANDES, Shaline Séfera Lopes; FERNANDES, Tauane Catilza Lopes; ARAGÃO, Roberta Fernanda Ribeiro; SILVA, Rogério César de Lara. As vantagens da biorremediação na qualidade ambiental. **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 23, n. 1, p. 12-15, 2019.

MARCO, Cristhian Magnus. **O direito fundamental à cidade sustentável e os desafios de sua eficácia**. 2012. 390 f. Tese (Doutorado) – Curso de Direito, Programa de Pós-Graduação em Direito, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUC/RS, RS, 2012

MARCONI, Nelson; ROCHA, Marcos. **Insumos importados e evolução do setor manufatureiro no Brasil**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea, 2012. 65 p.

MATIAS, João Luis Nogueira; BELCHIOR, Germana Parente Neiva. Direito, economia e meio ambiente: a função promocional da ordem jurídica e o incentivo a condutas ambientalmente desejadas. **Nomos – Revista do Programa de Pós-Graduação em Direito da UFC**. 2007/2. p.155-176. 2007.

MATTHES, Rafael Antonietti. Extrafiscalidade como instrumento de proteção ambiental no Brasil. **Veredas do Direito**. v. 8, n. 16, p. 47-62, jul-dez, 2011.

McNUTT, Marcia; CAMILLI, Rich; CRONE, Timothy; GUTHRIE, George; HSIEH, Paul; RYERSON, Thomas; SAVAS, Omer; SHAFFER, Frank. **Review of Flow Rate Estimates of the Deepwater Horizon Oil Spill**. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(50), 2012, pp. 20260-20267.

MICHELETTI, Igor Talarico Da Silva; MICHELETTI, Danilo Hungaro; FRIEDRICH, Natalie Cristina; CAPELLARI, Marta Botti; BELUSSO, Diane; ANDRADE, Arlindo Fabrício; CORRÊIA, Arlindo Fabrício; ZONIN, Valdecir José. Energia solar, extrafiscalidade e políticas públicas na promoção ao desenvolvimento sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 58659-58680, 2021.

MORAES, William Thiago; SOLA, Fernanda. Extrafiscalidade ambiental – o estado de conhecimento no Brasil. **Novos Cadernos NAEA**. v. 22, n. 3, p. 157-175, set-dez. 2019.

MORAIS FILHO, Manuel Capristânio; CORIOLANO, Ana Catarina Fernandes. Biorremediação, uma alternativa na utilização em áreas degradadas pela indústria petrolífera. **Holos**, v. 7, p. 133-150, 2016.

MOREIRA, Juliana Fisher Marques; D'ALMEIDA, Albino Lopes. **Indústria de Petróleo e Gás: Acidentes relevantes no Mundo**. III Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – CONEPETRO. 2018.

NAIK, Satya Narayan; Goud, Vaibhav; DERROTA, Prasant; DALAI, Ajay. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 14(2), 578-597. 2010.

NUNES, Fernando Custódio; SANTOS, Lucílio da Silva; ESPER, Fábio José; CORTÉS, Guillermo Ruperto Martín; ZACHARIAS, Janice Maria. **Impactos ambientais causados por vazamento de petróleo no Golfo do México**. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 1; 2015, Campina Grande, 2015, p. 4-5.

OLIVEIRA, José Marcos Domingues. **Direito Tributário e Meio Ambiente – proporcionalidade, tipicidade aberta, afetação da receita**. 3 ed. Rio de Janeiro: Renovar, 2007.

OLIVEIRA, Natália Couto; MOREIRA, Paula Gomes. O Brasil e as três conferências das Nações Unidas sobre meio ambiente. **História e Economia**, v. 9, n. 2, p. 99-116, 2011.

OSTRENSKI NETO, Antônio; CHAVES, Paulo de Tarso; GUIMARÃES, Ana Tereza Bittencourt. **Monitoramento ictiofaunístico pós-derramamento de óleo nos Rios Barigüí e Iguaçu**. In: UN-REPAR/PETROBRÁS, 2001. 2º Seminário do Rio Iguaçu. Araucária, p. 32–52, 2001.

OTHON, Adriano de Oliveira. A regulação do investimento em inovação tecnológica e o direito de propriedade intelectual no setor petrolífero brasileiro. **Revista Direito e Liberdade**, v. 5, n. 1, p. 33-62, 2009.

PACHAURI, Rajendra; ALLEN, Myles; BARROS, Vicente; BROOME, John; CRAMER, Wolfgang; CHRIST, Renate; CHURCH, John; CLARCK, Leon. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core

Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)). IPCC, Geneva, Switzerland. 2014.

PAULSEN, Leandro. **Curso de Direito Tributário: Completo**. 5ª ed. rev. atual. e ampl. Porto Alegre: Livraria do Advogado Editora. 2013.

PEREIRA, Aline Ramalho Brandão; FREITAS, Diego Antônio França. Uso de micro-organismos para a biorremediação de ambientes impactados. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 6, n. 6, p. 995-1006, 2012.

PEREIRA, José Santos Saraiva. **Prospecção e caracterização de isolados microbianos para a biorremediação de ambientes marinhos contaminados por petróleo e misturas de óleo Diesel/Biodiesel**. 2018. 197 f. Tese (Doutorado) – Curso de Biologia Celular e Molecular, Programa de Pós-Graduação em Biologia Celular e Molecular, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS, RS, 2018.

PEREIRA, Rogério Ferreira; MORGADO, Claudia do Rosário Vaz; CARVALHO, Paulo Victor Rodrigues; SANTOS, Issac José Antônio Luqyetti. Pensamento sistêmico e engenharia de resiliência aplicados à segurança de processos de exploração e produção de petróleo: estudo de caso deepwater horizon. **Revista Brasileira de Ergonomia: Ação ergonômica**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 153-162, 2015.

PEREIRA, Elenildes Santana; SILVA, Joaquim Ramos; MAIA, Sinézio Fernandes. Os efeitos da taxa de câmbio e dos Preços do Petróleo nos preços Internacionais das Commodities Brasileiras. **Revista Econômica do Nordeste**. v. 48, n. 1, p. 131-144, 2017.

PETROBRAS. **Centros de Estudos do Petróleo (CEPETRO)**. Disponível em <https://www.cepetro.unicamp.br/>. Acesso em: 10 nov. 2022.

PINTO, Keziah Alessandra Vianna Silva. **Introdução ao direito ambiental tributário**. Campinas, SP: Editora Alínea, 2012.

PINTO, Keziah Alessandra Vianna Silva; SELLMANN, Milena Zampieri. Tributo como instrumento para assegurar o direito fundamental ao meio ambiente. In: YOSHIDA, Consuelo Y. M.; RAMPAZZO, Lino (Orgs.). **O direito e a dignidade humana: aspectos éticos e socioambientais**. Campinas, SP: Editora Alínea, 2012.

PRIEUR, Michel. O Princípio da Proibição de Retrocesso Ambiental. In: Rollenberg, Rodrigo (Org). **O Princípio da Proibição de Retrocesso Ambiental**. Brasília: Senado Federal, p. 11-54, 2012.

PRINCE, Roger. The microbiology of marine oil spill bioremediation. **Petroleum Microbiology**. p. 317-335. ASM Press. 2005.

REDDY, Christopher; QUINN, James. The North Cape oil spill: Hydrocarbons in Rhode Island coastal waters and Point Judith Pond. **Marine Environmental Research**, 52(5), 445-461. 2001.

RIBAS, Lidia Maria Rodrigues. Defesa Ambiental: Utilização de Instrumentos Tributários. In: TORRES, Heleno Taveira. **Direito Tributário Ambiental**. São Paulo: Malheiros, 2005.

RIBEIRO, Maria de Fátima; SILVA, Suzana Tavares. **Trajectórias de Sustentabilidade**. Tributação e Investimento. Coimbra: Coimbra ed., 2014.

RISER-ROBERTS, Eve. In Situ/On-Site Biodegradation of Refined Oils and Fuels. **A Technology Review**. Volume 2. Appendix A. Supplementary Text. 1992.

RIOS, Aurélio Virgílio Veiga; IRIGARAY, Carlos Teodoro Huguene (org.). **O direito e o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Peirópolis, 2005. 352 p.

RODRIGUES, Ivo Miguel Lima. **Plano Nacional de Contingência para o Combate à Poluição do Mar**. 2017. 180 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciências do Mar, Escola Naval, Alfeite, 2017.

ROSS, Alana; BECKER, Elsbeth Leia Spode. Educação ambiental e sustentabilidade. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v. 5, n. 5, p. 857-866. 2012.

SALLES, Alexandre Ottoni Teatini; MATIAS, Ariella Lopes. Uma análise da teoria das externalidades de Pigou e Coase e suas aplicações na abordagem teórica da Economia Ambiental. **Informe Econômico (UFPI)**. Ano 24. Vol. 44. N 1. Jan/jun, 2022.

SANTOS, Nivaldo dos; PADILHA, Norma Sueli; VIEIRA, Ricardo Stanziola. A biorremediação e a extrafiscalidade: a necessidade de uma legislação que incentive alternativas sustentáveis para a recuperação ambiental. In: Encontro virtual do conpedi, 4., 2021, Florianópolis. **Direito ambiental, agrário e socioambientalismo II**. Florianópolis: CONPEDI, 2021. p. 212-232.

SANTOS, Patrícia Vieira. Impactos ambientais causados pela perfuração em busca do petróleo. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE**, v. 1, n. 1, p. 153–163, 2012.

SÃO PAULO. Lei de nº 13.296, de 23 de dezembro de 2008. **Lei da Extrafiscalidade IPVA – São Paulo**. Estabelece o tratamento tributário do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores – IPVA. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 dez. 2008. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2008/lei-13296-23.12.2008.html>. Acesso em: 07 nov. 2022.

SEBASTIÃO, Simone Martins. **Tributo Ambiental: Extrafiscalidade e Função do Direito**. Curitiba: Juruá, 2010.

SEISDEDOS, Ana Paula Ganzaroli Martins. **Incentivos fiscais na reciclagem de resíduos sólidos**: a tributação ecológica e seu impacto no desenvolvimento econômico sustentável. 2015. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015.

SERAFIN, Ieda Terezinha; HENKES, Jairo Afonso. Água de Lastro: um problema ambiental. Estudo de Caso. **Rev. Gest. Sust. Ambient.**, Florianópolis, v. 2, n. 1, p. 92-112, abr./set., 2013.

SILVA, José Afonso. **Curso de Direito Constitucional Positivo**. Malheiros ed. 44ª edição. 2022.

SILVA, Paloma Mirelly Amorim. **Maré de mudanças: rastreando o plano de contenção da poluição por óleo no Brasil**. 2023. 79 f. TCC (Graduação) – Curso de Ciência Política, Departamento de Ciência Política, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

SINGH, Anuj Raj; NISHAD, Shiv Narayan; KUMAR, Naresh. Capturing Evolution of Research Trends in Air Pollutants and its Health Impact: a bibliometric approach. **Journal Of Scientometric Research**, v. 11, n. 2, p. 226-234, 13 set. 2022.

SINGH, Brajesh; WALKER, Allan; MORGAN, Alun; WRIGHT, Denis. Effects of soil pH on the biodegradation of chlorpyrifos and isolation of a chlorpyrifos-degrading bacterium. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 72, n. 8, p. 5198-5206, 2006.

SOARES, Guido Fernando Silva. **Direito internacional do meio ambiente: emergência, obrigações e responsabilidades**. São Paulo: Atlas, 2003.

SOUZA, Artur Henrique Freitas Florentino. **Avaliação da eficiência da biorremediação por perifiton em rio urbano**. 2020. 197 f. Tese (Doutorado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

SOUZA, Jorge Henrique de Oliveira. **Tributação e o Meio Ambiente**. Belo Horizonte: DelRey, 2009.

STELO, Gilmar.; MURARO, Leonardo Gonçalves. **Política tributária e meio ambiente**. Brasília: OAB Editora, 2009.

SZKLO, Alexandre Salem; ULLER, Victor Coen. **Fundamentos do Refino de Petróleo: Tecnologia e Economia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

TEODORO, Anderson; BONCZ, Marc Árpád; PAULO, Paula Loreiro; MACHULEK JUNIOR, Amilcar. Desinfecção de água cinza por fotocatalise heterogênea. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, p. 1017-1026, 2017.

THOMAS, Richard. Volatilization from water. **Handbook of chemical property estimation methods**, v. 15, 1982.

TOMKOWSKI, Fábio. A tributação extrafiscal e as teorias da decisão como indutores de comportamentos sustentáveis. **Revista Jurídica Luso-Brasileira**, [S. l.], n. 2, p. 483-501, 2016.

TONINI, Rita Maria Costa Wetler; DE REZENDE, Carlos Eduardo; GRATIVOL,

Adriana Daudt. Degradação e biorremediação de compostos do petróleo por bactérias: revisão. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 4, p. 1025-1035, 2010.

TUPIASSU, Lise Vieira da Costa; SCAFF, Fernando Facury. **Tributação e Políticas Públicas: O ICMS Ecológico**. In: TORRES, Heleno Taveira. Direito Tributário Ambiental. São Paulo: Malheiros, 2005.

TYAGI, Meenu; FONSECA, Manuela; CARVALHO, Carla. Bioaugmentation and biostimulation strategies to improve the effectiveness of bioremediation processes. **Biodegradation**, v. 22, p. 231-241, 2011.

VAN HAMME, Jonathan; SINGH, Ajay; WARD, Owen. Recent advances in petroleum microbiology. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 67, n. 4, p. 503-549, 2003.

VANZELLA, José Marcos Miné. **Crise ecológica e legitimidade do Direito: a questão das autonomias privada e pública a partir de Jünger Habermas**. In: YOSHIDA, Consuelo Y. M.; RAMPAZZO, Lino (Orgs.). O direito e a dignidade humana: aspectos éticos e socioambientais. Campinas, SP: Editora Alínea, 2012.

VARJANI, Sunita; UPASANI, Vivek. Influence of abiotic factors, natural attenuation, bioaugmentation and nutrient supplementation on bioremediation of petroleum crude contaminated agricultural soil. **Journal of environmental management**, v. 245, p. 358-366, 2019.

VASCONCELLOS, Maria Cristina; PAGLIUSO, Débora; SOTOMAIOR, Vanessa Santos. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. **Estudos de Biologia: Ambiente e Diversidade**, v. 83, p. 261-267, 2012.

VIDALI, Marisa. Bioremediation. An overview. **Pure and Applied Chemistry**, v. 73, n. 7, p. 1163-1172, 2001.

VOGEL, Timothy. Bioaugmentation as a soil bioremediation approach. **Current opinion in biotechnology**, v. 7, n. 3, p. 311-316, 1996.

YERGIN, Daniel. The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power. New York: Simon & Schuster, 1991.

YOSHIDA, Consuelo Yatsuda Moromizato. O juiz e a constituição ecológica. In O direito e a dignidade humana: aspectos éticos e socioambientais. Org. YOSHIDA, Consuelo Y. M.; RAMPAZZO, Lino. Campinas, SP: Editora Alínea, 2012.

YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann; CÂNEPA, Eugenio Miguel; LUSTOSA, Maria Cecília Junqueira. **Política ambiental**. p. 163 – 179. In: MAY, Peter H. (Org.). Economia do meio ambiente: teoria e prática. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

ZIOLLI, Roberta Lourenço; JARDIM, Wilson F. Mecanismo de fotodegradação de compostos orgânicos catalisada por TiO₂. **Química Nova**, v. 21, p. 319-325, 1998.

ZHANG, Lianghui; HAIDER, Syed; KWON, Sophia; NOLAN Anna. Air Pollution and

Lung Function Loss: the importance of metabolic syndrome. **National Library Of Medicine**, v. 3, n. 2, p. 1043, jun. 2016.

GLOSSÁRIO

Bioaugmentação: alteração do meio ambiente visando extinguir fatores que limitam o crescimento e desenvolvimento de microrganismos, contemplando, dessa maneira, a biodegradação dos compostos orgânicos poluentes pela população nativa.

Bioconversão: processo de conversão da matéria orgânica em produtos desejados usando organismos vivos. Esse processo é frequentemente utilizado em aplicações industriais e ambientais para transformar resíduos orgânicos em produtos úteis, gerando valor a partir de materiais que de outra forma poderiam ser descartados.

Biodegradação: processo natural pelo qual materiais orgânicos são decompostos por microrganismos, como bactérias e fungos, em substâncias mais simples ou menos nocivas para o ambiente. Esse processo é fundamental para a reciclagem de matéria orgânica na natureza e é crucial na manutenção do equilíbrio dos ecossistemas.

Bioestimulação: processo de estimulação dos sistemas biológicos que promovem o aumento de suas atividades e o melhorar seu funcionamento. Além das ambiental, este termo é amplamente utilizado em áreas diversas, incluindo medicina, agricultura, e pesquisa biológica.

Biorremediação: técnica que utiliza organismos vivos para remover, degradar ou neutralizar poluentes ambientais. Essa abordagem é frequentemente empregada para tratar solos contaminados, corpos d'água e áreas contaminadas por substâncias tóxicas como petroderivados.

Biotecnologia: aplicação de tecnologia para utilizar, modificar ou manipular organismos vivos ou sistemas biológicos para desenvolvimento de produtos ou processos úteis para os seres humanos.

Commodities: produtos básicos e não diferenciados que são amplamente utilizados e trocados no mercado global, sendo fungíveis, o que significa que são considerados idênticos, independentemente do local ou do produtor. E fundamentais às atividades econômicas e comerciais em nível global.

Dispersante químico: substância que é adicionada a um sistema para ajudar na dispersão de partículas que normalmente se aglomerariam, possuindo a capacidade de reduzir a atração entre partículas, evitando assim a aglomeração e promovendo a dispersão uniforme.

Drawback: termo utilizado no contexto de comércio internacional e referente a um regime aduaneiro especial, que engloba a uma prática que visa incentivar as exportações e a competitividade de determinadas indústrias.

Ecotax: abreviação para "imposto ecológico" ou "imposto verde" que tem como objetivo internalizar os custos ambientais associados às atividades econômicas que causam impactos ambientais negativos.

Habitat: ambiente natural específico onde uma espécie ou comunidade de organismo vive, cresce e se reproduz.

Hidrocarboneto: compostos químicos formados exclusivamente por átomos de hidrogênio e carbono. Sendo fundamentais por desempenharem um papel central na indústria de petróleo e gás, tendo como base os combustíveis fósseis.

Homeostase: conceito fundamental na fisiologia e na biologia que se refere à capacidade dos organismos de manter condições internas estáveis e equilibradas, independentemente das variações no ambiente externo. É um processo dinâmico que envolve a regulação de diversos parâmetros fisiológicos para garantir um ambiente interno ideal para as funções celulares e metabólicas.

Matéria orgânica: substância que contém carbono e hidrogênio. Geralmente encontrada em organismos vivos ou em seus produtos de decomposição, desempenhando um papel fundamental nos ambientes terrestres e marinhos.

Microrganismos indígenas: são microorganismos naturalmente encontrados em um determinado ambiente ou ecossistema que desempenham papéis essenciais nos ciclos biogeoquímicos, na decomposição de matéria orgânica, na produção de nutrientes e em muitos outros processos que contribuem para a saúde e equilíbrio de habitats específicos.

Nafta petroquímica: fração do petróleo bruto utilizada como matéria-prima na indústria petroquímica para a produção de uma variedade de produtos. Sendo uma mistura de hidrocarbonetos líquidos que é obtida durante o processo de refino do petróleo.

Petroderivados: subprodutos obtidos a partir do processamento do petróleo bruto que passou por um processo de refinamento para separar seus componentes em frações mais leves e utilizáveis. Importando em produtos essenciais às indústrias e economia global.

Polímeros: macromoléculas formadas pela repetição de unidades estruturais menores chamadas de monômeros, desempenhando um papel crucial em muitos

aspectos da vida cotidiana, pois são encontrados em uma ampla variedade de materiais e produtos.

Recalcitrante: termo utilizado para descrever substância resistente ou que apresenta dificuldade de mudanças.