



**Tópicos para o  
Fortalecimento da  
Sustentabilidade no  
Rio Grande do Norte**

Educação Ambiental,  
Ações Adaptativas e de Gestão

Jean Leite Tavares  
Org.



editora **ifrn**

# Tópicos para o Fortalecimento da Sustentabilidade no Rio Grande do Norte

Educação Ambiental,  
Ações Adaptativas e de Gestão

Jean Leite Tavares  
Org.



**editoraifrn**

Natal, 2023

Presidente da República  
**Luiz Inácio Lula da Silva**

Ministro da Educação  
**Camilo Santana**

Secretário de Educação Profissional e Tecnológica  
**Getúlio Ferreira Marques**

---



Reitor

**José Arnóbio de Araújo Filho**

Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação  
**Avelino Aldo de Lima Neto**

Coordenador da Editora IFRN  
**Rodrigo Luiz Silva Pessoa**

---

#### **Conselho Editorial**

Adriano Martinez Basso  
Alana Drizie Gonzatti dos Santos  
Alba Valéria Saboia Teixeira Lopes  
Alexandre da Costa Pereira  
Amilde Martins da Fonseca  
Ana Judite de Oliveira Medeiros  
Ana Lúcia Sarmento Henrique  
Anna Cecília Chaves Gomes  
Avelino Aldo de Lima Neto  
Cíntia Beatrice da Silva Telles  
Cláudia Battestin  
Diogo Pereira Bezerra  
Emanuel Neto Alves de Oliveira  
Francinaide de Lima Silva Nascimento  
Genildo Fonseca Pereira

Gracielle Cristine Farias Moura  
José Everaldo Pereira  
Julie Thomas  
Leonardo Alcântara Alves  
Luciana Maria Araújo Rabelo  
Marcus Vinícius de Faria Oliveira  
Marcus Vinícius Duarte Sampaio  
Maria Elizabete Sobral Paiva de Aquino  
Maria Kassimati Milanez  
Maurício Sandro de Lima Mota  
Miler Franco D Anjour  
Paulo Augusto de Lima Filho  
Raúl Humberto Velis Chávez  
Renato Samuel Barbosa de Araújo  
Rodrigo Luiz Silva Pessoa  
Samuel de Carvalho Lima  
Sílvia Regina Pereira de Mendonça

---

#### **Projeto Gráfico, Diagramação e Capa**

Hanna Andreza Fernandes Sobral

#### **Diagramação**

Caule de Papiro

#### **Revisão Linguística**

Rodrigo Luiz Silva Pessoa

Prefixo editorial: Editora IFRN  
Linha Editorial: Acadêmica  
Disponível para *download* em:  
**<http://memoria.ifrn.edu.br>**

---



#### **Contato**

Endereço: Rua Dr. Nilo Bezerra Ramalho, 1692, Tirol, Natal-RN.  
CEP: 59015-300. Telefone: (84) 4005-0763 | E-mail: [editora@ifrn.edu.br](mailto:editora@ifrn.edu.br)



# **Tópicos para o Fortalecimento da Sustentabilidade no Rio Grande do Norte**

Educação Ambiental,  
Ações Adaptativas e de Gestão

Jean Leite Tavares  
Org.



Os textos assinados, no que diz respeito tanto à linguagem quanto ao conteúdo, não refletem necessariamente a opinião do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. As opiniões são de responsabilidade exclusiva dos respectivos autores. É permitida a reprodução total ou parcial desde que citada a fonte.

---

T674 Tópicos para o Fortalecimento da Sustentabilidade no Rio Grande do Norte: educação ambiental, ações adaptativas e de gestão [livro eletrônico] / Jean Leite Tavares (organizador). – . Natal : IFRN, 2023.

200 p. : il ; PDF

ISBN: 978-85-8333-298-5

1. Educação ambiental 2. Sustentabilidade 3. Ciência do meio ambiente. I. Jean Leite Tavares. II. Título.

IFRN/SIBi

CDU 37:502

---

Divisão de Serviços Técnicos  
Catalogação da publicação na fonte elaborada pela Bibliotecária  
Marise Lemos Ribeiro – CRB-15/418

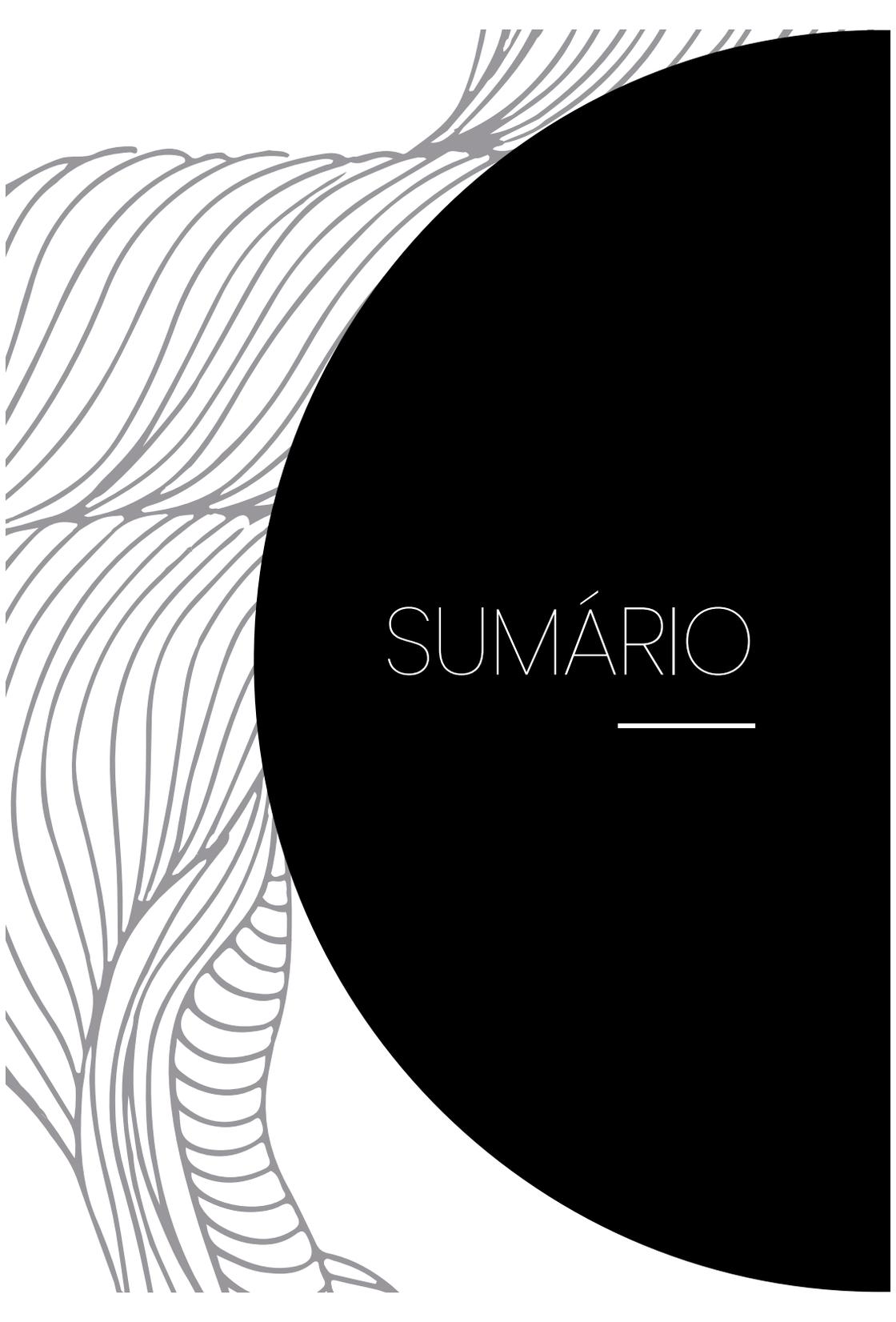
Esta obra foi submetida e selecionada por meio de edital específico para publicação pela Editora IFRN, tendo sido analisada por pares no processo de editoração científica.

# Apresentação

O Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável dos Recursos Naturais (PPgUSRN) da Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais (DIAREN) do *Campus* Natal Central IFRN traz, nesse segundo volume de livro publicado por fomento da Pró-reitoria de Pesquisa e Inovação aos Programas de Pós-graduação da instituição, alguns dos principais estudos desenvolvidos nos últimos anos com foco nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e pautados em ações aplicadas para o fortalecimento da sustentabilidade. Os trabalhos aqui selecionados focam tanto em ações da educação ambiental voltadas às adaptações necessárias trazidas pelas mudanças climáticas, como trazem também exemplos de adaptações aplicáveis no campo e nas cidades também para um enfrentamento

Somos gratos a todos os autores pelo esforço e dedicação sempre presente na elaboração de mais uma obra construída a partir de pesquisas desenvolvidas, principalmente no auge da pandemia da Covid-19 e que, com todas as dificuldades, mas com o apoio institucional, mostram o potencial inovador do nosso PPgUSRN.

Temos um agradecimento especial às mulheres e homens que fazem a pesquisa científica no IFRN, em todas as áreas do conhecimento, sem preconceitos e atingindo as parcelas mais vulneráveis da população.



# SUMÁRIO

---

CAPÍTULO 1 – Educação Ambiental e Mudanças Climáticas: elaboração de uma sequência didática como metodologia de ensino na educação básica.....9

*João Paulo de Melo*

*Kadydja Karla Nascimento Chagas*

*Leandro Silva Costa*

*João Teixeira de Carvalho Neto*

*Sheyla Varela Lucena*

CAPÍTULO 2 – Alternativas para a substituição de combustíveis fósseis em motores de ciclo diesel: uma revisão a partir de conceitos, características e possíveis tendências.....47

*Danielle Domingos da Silva*

*Joyce Aline Oliva Rodrigues Alves*

*Leandro Silva Costa*

*João Teixeira de Carvalho Neto*

*André Luiz Lopes Toledo*

CAPÍTULO 3 – Estudo da percepção ambiental para avaliar a qualidade da água na rede de distribuição no litoral Sul do Rio Grande do Norte.....104

*Maria Cândida Barreto Cunha*

*Jean Leite Tavares*

*Douglisnilson de Moraes Ferreira*

*Dayana Melo Torres*

CAPÍTULO 4 – Desenvolvimento e avaliação de um dispositivo para desvio das primeiras águas de chuva.....122

*José Edson Martins Silva*

*Dayana Melo Torres*

CAPÍTULO 5 – Programas e ferramentas de compliance ambiental na mineração.....166

*Wildma Micheline da Câmara Ribeiro*

*Leonardo Pivôtto Nicodemo*



# Educação Ambiental e Mudanças Climáticas:

elaboração de uma  
sequência didática  
como metodologia de  
ensino na educação  
básica

João Paulo de Melo  
Kadydja Karla Nascimento Chagas  
Leandro Silva Costa  
João Teixeira de Carvalho Neto  
Sheyla Varela Lucena

---

# Introdução

Desde o primeiro relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês), em 1990, a sociedade já vem sendo alertada sobre os problemas socioambientais consequentes das mudanças no clima. A cada novo relatório publicado pela organização, os alertas se tornam mais frequentes, mas se observa que eles têm sido pouco abordados nas políticas públicas educacionais brasileiras (FARIA; RAMOS; COLTRI, 2021).

Sobre a relevância da educação neste contexto ambiental, Edgar Morin, ao longo de sua trajetória, tem debatido sobre a crise planetária, intitulada por ele de policrise. Essa crise (uma agonia planetária) é agravada devido ao sentimento de impotência perante o surgimento de novos problemas. Dessa forma, um dos caminhos possíveis para a reflexão em torno dela, da sua edificação a partir das ruínas, pode ser trilhado por meio do papel desenvolvido pela educação (MORIN, 2005). Neste contexto, pensar a educação de forma complexa é acreditar que ela deve ser um processo que venha contribuir para a formação do sujeito cidadão, o que certamente envolve o desenvolvimento de uma cidadania planetária.

Assim, destacamos a magnitude da Educação Ambiental (EA) estabelecida na Política Nacional de Educação Ambiental - PNEA, lei nº 9.795/99, que determina sua presença no cotidiano escolar. A EA apresenta contribuições diretas à estruturação de atividades em torno dos problemas concretos da comunidade, auxiliando indivíduos e grupos sociais a adquirirem os conhecimentos necessários para compreendê-los

e as habilidades necessárias para resolvê-los. Sua principal função é contribuir para a formação da cidadania através da conscientização socioambiental, respeitando a vida e a coletividade, nas esferas local e global (CARNEIRO, 2019). Seguindo nesta trajetória, em 2017, a Educação Brasileira foi normatizada pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que trouxe novos desafios à área, inclusive no que tange ao tema interdisciplinar e transversal das mudanças climáticas, que precisam ser trabalhadas de forma plural e fluida, a fim de abranger suas complexidades e incertezas, engajando e promovendo o protagonismo dos alunos (FARIA; RAMOS; COLTRI, 2021).

A partir dessa perspectiva, sentimos que atualmente as transformações em todos os âmbitos da sociedade decorrentes das mudanças climáticas e os seus impactos estão sendo negligenciados em instituições de ensino fundamental e, conseqüentemente, nos planejamentos de ensino. Os cientistas destacam vários fatores decorrentes dos efeitos nocivos das mudanças climáticas, dentre eles o aumento da temperatura do planeta, que tem ocasionado a elevação do nível do mar devido ao derretimento das calotas polares, levando ao possível desaparecimento de ilhas e cidades litorâneas. Há previsão de uma maior frequência de eventos climáticos extremos (nevascas, tempestades tropicais, tornados, furacões, inundações, ondas de calor e secas), com conseqüências graves para as populações humanas e ecossistemas naturais, levando à extinção de inúmeras espécies de plantas, animais terrestres e aquáticos, além de microorganismos (BARBADO; LEAL, 2021).

Como educadores percebemos que a estrutura educacional atual ainda não conseguiu atender aos anseios da dimensão ambiental; pois estas necessidades exigem competências

e habilidades na promoção da cidadania socioambiental. As instituições educativas historicamente priorizam a formação científica e tecnológica, deixando em segundo plano questões humanas, éticas e ambientais (ASSADOURIAN, 2010; LIMA, 2013).

Todos estes fatores são justificativas rumo à elaboração de estratégias metodológicas educativas que mitiguem os efeitos das mudanças climáticas em âmbito educacional. Nesta perspectiva, o planejamento pedagógico deve ser reestruturado no sentido de relacionar políticas educativas, projeto político pedagógico e experiências de aprendizagem escolar. Dessa forma, as tomadas de decisão estabelecidas pelo professor favorecem ações que fortaleçam o processo educativo (SANT'ANNA et al., 1995; VASCONCELLOS, 1995).

Nesta perspectiva, a utilização da metodologia de ensino da sequência didática no planejamento escolar ganha uma enorme dimensão, por ter características que favorecem o processo de ensino-aprendizagem. As sequências didáticas contribuem para o ensino interdisciplinar, o que minimiza a fragmentação do conteúdo e contribui significativamente para o alcance dos objetivos estabelecidos, mediante as necessidades dos alunos. Em termos didático-pedagógicos, a sequência didática está sistematizada em abertura, desenvolvimento e fechamento; e em todas estas etapas, o professor tem o papel de estimular os alunos na aquisição de conhecimentos. Na sequência, apresenta-se o conteúdo, desenvolve-se o tema em questão e caminha-se para o fechamento, que consiste em sintetizar o estudo, resultando em uma avaliação (CAVALCANTI, RIBEIRO, BARRO, 2018; FRANCO, 2018).

Mediante Zaballa (2007), a sequência didática é compreendida como sendo a soma de atividades interligadas, estruturadas didaticamente para ensinar um conteúdo, passo a passo, sistematizada mediante os objetivos que o professor almeja atingir para aprendizagem dos alunos. O desenvolvimento da sequência didática envolve atividades avaliativas que podem perdurar por dias e semanas. Com a sequência didática, os conteúdos podem ser inseridos a uma temática e, por sua vez, tornando o conhecimento acertado ao trabalho pedagógico desenvolvido.

Assim, compreendemos que a sequência didática em educação ambiental e mudanças climáticas pode ser utilizada como uma ferramenta de ensino- aprendizagem, na qual podem ser realizadas discussões com os alunos sobre uma problemática, numa perspectiva em que o discente seja encorajado a buscar argumentos fundamentados na ciência para a sua resolução. Assim, suas atitudes dirigem-se rumo a uma educação ambiental emancipatória, em que suas ações são ambientalmente pensadas para salvaguardar os recursos naturais e o respeito a toda biodiversidade planetária.

Portanto, o questionamento que orientou esta pesquisa partiu da problemática de como elaborar uma sequência didática sobre educação ambiental e mudanças climáticas para alunos do 4º e 5º anos do ensino fundamental. Para responder a essa pergunta, os objetivos pretendidos são ensinar a educação ambiental e mudanças climáticas através da elaboração de uma sequência didática e estimular a aprendizagem de modo que direcionam a escolhas mais sustentáveis e que permitam ao professor e aos alunos se emanciparem e explo-

rarem conceitos científicos, a partir da temática relacionada ao cotidiano.

Assim, a presente pesquisa apresenta-se com relevante contribuição para a formação socioambiental de discentes a partir da perspectiva crítica e transformadora dos desafios ambientais enfrentados pelas atuais e futuras gerações, bem como a sistematização realizada dos conteúdos em educação ambiental e mudanças climáticas, contribuindo efetivamente para o alcance do Objetivo do Desenvolvimento Sustentável - ODS 13, da Agenda 2030, para o Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas.

Em nível global, infelizmente ainda há poucos sucessos no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável; assim, os desafios para a educação ambiental em mudanças climáticas nunca foram tão grandes e tão urgentes de serem superados, uma vez que as consequências negativas disso já estão sendo vivenciadas no mundo. Neste aspecto, a educação aparece como um importante instrumento na tentativa de mitigar os problemas ambientais contemporâneos.

## Mudanças climáticas globais e a educação ambiental em uma perspectiva crítica

Neste item, serão tratados os termos chave deste trabalho, bem como os autores que respaldam a análise e discussão deste texto. Aqui, serão abordadas a temática das mudanças climáticas globais e a educação ambiental em uma perspectiva crítica, por entendermos que todas as questões ambientais relacionadas às mudanças climáticas estão plenamente

inseridas na educação ambiental, e que se esta não apresentar uma abordagem crítica e emancipatória, continuaremos repetindo os mesmos erros da história e estaremos fadados ao pleno desequilíbrio socioambiental.

Consideramos de suma importância trazer uma sequência didática que seja inovadora e que de fato venha ser conveniente, pois ainda existem lacunas que devem ser preenchidas, e este espaço diz respeito a uma forma de visão mais crítica, política e emancipatória sobre a educação ambiental e mudanças climáticas. Muitas abordagens em educação ambiental, as quais aparentemente se mostram perspectivas plausíveis, simplesmente ignoram os caminhos dos processos de aprendizagem e a necessidade social de se modificar atitudes, habilidades e valores. Nesta caminhada, destacamos o que dizem alguns teóricos da educação ambiental crítica que serviram de embasamento para esta produção, dentre eles destacamos: Loureiro (2012) e (2007), Lima (2015) e Guimarães (2004).

Sobre o relevante papel da educação ambiental crítica, Loureiro (2012) explica que ele está relacionado à conscientização, emancipação e exercício da cidadania, em que a conscientização é vista como um comprometimento com a transformação de uma sociedade injusta e desigual. Ao ser emancipatória, a educação ambiental deve instrumentalizar o indivíduo e prepará-lo para que o mesmo seja capaz de escolher livremente os caminhos que deve seguir em sociedade e em equilíbrio com a natureza. Desta forma, a educação ambiental implicaria em uma educação politicamente transformadora, pois ela também é o desenvolvimento da cidadania.

Nesta mesma perspectiva, Lima (2015) afirma que a educação ambiental, em sua perspectiva crítica, pode ressignificar as práticas educativas desenvolvidas nas escolas, promovendo assim a compreensão dos problemas socioambientais em suas dimensões. A educação ambiental crítica ainda pode contribuir muito mais para a emancipação dos sujeitos, potencializando-os para uma ação integradora e transformadora, com objetivos de promover atividades que envolvam realidade e problemas socioambientais, num processo de transformação entre educador e educando. Para tanto, é preciso que haja participação social e exercício da cidadania, pois através da práxis social, o indivíduo aprimora o que aprendeu e recria habilidades, por meio de diferentes saberes.

Assim, a promoção de ambientes educativos interligados à realidade e a seus problemas socioambientais favorece uma aprendizagem significativa e propiciará, neste processo educativo, que educandos e educadores se formem e se construam pelo exercício de uma cidadania ativa, na transformação da grave crise socioambiental que vivenciamos. Todos estes aspectos fazem parte da educação ambiental crítica. Acreditamos que as ações pedagógicas que reflitam essa compreensão devam exceder a mera transmissão de conhecimentos ecológicamente corretos, envolvendo afetivamente os educadores e educandos com a causa socioambiental (GUIMARÃES, 2004).

Com a perspectiva de educação ambiental crítica, apresentada por Loureiro (2007), entendemos que as ações antrópicas estão completamente inseridas num contexto histórico atemporal e que a reflexão neste contexto de complexidade deve ser vivenciada constantemente, objetivando a construção de uma sociedade vista como mais sustentável. Neste en-

tendimento, abordar o tema das mudanças climáticas com alunos do ensino fundamental torna-se um mergulho na realidade, buscando entender os fatos ocorridos e, com isso, direcionar nossas atitudes rumo a um mundo mais respeitoso e mais justo ambientalmente. Os efeitos destas ações se tornarão mais visíveis, possibilitando um entendimento sobre nós mesmos, os outros e o planeta. Nesta perspectiva, temáticas ambientais ganham uma visão mais problematizadora, apontando em várias direções: cultural, econômica, política, histórica, dentre outras. Assim, ações educativas que ficavam em segundo plano são geradas e estruturadas planejados em diálogo com toda a comunidade escolar (LOUREIRO, 2012).

Concluimos que trabalhar a educação ambiental e mudanças climáticas na perspectiva de elaboração de uma sequência didática como metodologia de ensino, para alunos da educação básica, numa perspectiva ambientalmente crítica, é uma atitude assertiva na atual conjuntura socioambiental. Ações em educação ambiental e mudanças climáticas devem se expandir nas salas de aulas do Brasil. Somando-se a isto, decidimos por dar maior visibilidade à Agenda 2030 e aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS 13, que falam sobre a ação contra a mudança global do clima; assim a instituição escolar apresenta condições viáveis nesta perspectiva de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas.

Assim, concordamos com Loureiro (2012) quando ele afirma que a satisfação em ser educador ambiental não está na certeza dos resultados, mas na possibilidade de construção e reconstrução de novas possibilidades rumo ao processo de ensino- aprendizagem referentes a salvaguarda de nossos

recursos naturais. possibilitando edificar um mundo melhor para todos, mais igualitário e ecologicamente sustentável.

## Percurso metodológico

Fonseca (2002) afirma que todo trabalho de cunho científico deve seguir rigorosamente uma metodologia bem definida para a obtenção de resultados satisfatórios, pois os procedimentos metodológicos apresentam o caminho para evolução da tarefa a ser realizada. Este texto recorre à pesquisa de natureza qualitativa, na qual é realizada uma análise hermenêutica dos dados coletados pelo pesquisador. A coleta de dados será através do método bibliográfico, o que possibilita o diálogo com outros sujeitos e conduz a análises sobre o que se está estudando. A pesquisa bibliográfica, por suas características apresentadas, torna-se primordial a toda produção acadêmica científica, pois todo trabalho técnico exige uma pesquisa bibliográfica. Nesta mesma perspectiva, Lakatos (2003) apresenta que a pesquisa bibliográfica tem uma abrangência a tudo o que já se foi produzido com relação ao tema em estudo, desde publicações, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses etc. Possibilitam ao pesquisador, dessa forma, uma maior aproximação com tudo o que foi escrito sobre determinado conteúdo.

Neste contexto, recorreremos ao uso da sequência didática como uma metodologia de ensino para o estudo proposto. O termo “sequência didática” emergiu no Brasil através do Ministério da Educação e do Desporto (MEC) em 1998. Originalmente, foi citado nos documentos dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), especificamente no estudo da língua

portuguesa, mas com o passar dos anos, expandiu-se para todas as disciplinas da estrutura curricular da educação básica do país (MACHADO; CRISTÓVÃO, 2006).

Franco (2018) enfatiza que a sequência didática se assemelha a um plano de aula, mas apresenta-se com maior abrangência, possibilitando a utilização de diferentes abordagens de ensino e por um período de tempo maior; assim, favorece uma abertura maior de diálogo entre o professor e os alunos, possibilitando a construção do conhecimento, o que resultaria em melhorias no processo de ensino aprendizagem, tornando o aluno mais participativo e sujeito de sua aprendizagem. A sequência didática também apresenta a possibilidade de que o professor possa aprimorar-se de novos conhecimentos enriquecendo sua prática pedagógica. Nesta mesma perspectiva. Zabala (1998) enfatiza que as sequências didáticas são sistematizadas para o desenvolvimento e alcance de objetivos educacionais pré estabelecidos, com início e fim conhecidos por todos os envolvidos no processo educativo. A sequência didática apresenta fases e atividades que constituem o processo educativo, objetivando sempre suprir as verdadeiras necessidades educacionais dos alunos em questão

A pesquisa bibliográfica para a produção da sequência didática em educação ambiental e mudanças climáticas será realizada em etapas, onde será realizada uma breve revisão bibliográfica com o intuito de identificar os principais temas publicados na literatura que estejam relacionados com as mudanças climáticas globais no ensino básico. Assim, serão definidos os descritores mediante a abordagem da temática mudanças climáticas que serão utilizados nas bases de dados do portal de periódicos da CAPES e o Google Acadêmico. A se-

leção dos artigos levará em conta a coesão e relevância do material mediante os objetivos da pesquisa.

Em seguida, será realizada uma análise dos dados obtidos e a classificação daqueles considerados importantes para a investigação, para serem utilizados conforme as características de uma sequência didática. Após seguir atentamente a todas as etapas anteriores, serão apresentados os resultados que resultarão na produção da sequência didática sobre mudanças climáticas para os alunos do 4º e 5º anos do ensino fundamental.

## Resultados e discussões

Os assuntos referentes à educação ambiental e mudanças climáticas ainda não se efetivaram de maneira coesa e contínua na realidade das escolas da educação básica do Brasil, o que nos faz buscar alternativas metodológicas eficientes para ensinar educação ambiental e mudanças climáticas para os alunos dos anos iniciais do ensino fundamental. Assim, como resultados da pesquisa bibliográfica, emergiram artigos relacionados à educação ambiental e às mudanças climáticas. Dentre eles, citamos:

- a) O papel da Educação Ambiental nas ações de combate às mudanças climáticas, de Emanuel Mateus da Silva, em 2019; disponível na Revista Brasileira de Educação Ambiental;
- b) Mudanças climáticas como tema gerador no ensino de ciências na educação básica, de Ana Paula San-

tos da Silva, em 2021; disponível em *Brazilian Journal of Development*;

c) Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica, de Alexandre Luis Junges, em 2018; disponível em *Experiências em Ensino de Ciências*;

d) Mudanças climáticas e suas implicações: trabalhando educação ambiental com alunos do 6º ano do Ensino Fundamental, de Fernanda Marques da Silva, em 2020; disponível na *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*.

Na pesquisa emergiram também alguns planos de aula sobre a temática das mudanças climáticas, porém voltados para alunos dos anos finais do ensino fundamental. Não houve registros significativos de nenhuma sequência didática em educação ambiental e mudanças climáticas, específico para alunos dos 4º e 5º anos do ensino fundamental. Analisando os resultados, identificamos que quatro temáticas se apresentaram como sendo as mais importantes e urgentes, que foram: o tempo e o clima, efeito estufa, aquecimento global e as mudanças climáticas. Assim, decidimos sistematizá-las em quatro aulas, conforme o quadro 01. Diante de tais resultados, a nossa proposta foi estabelecida e estruturada em quatro aulas, com a duração de aproximadamente 120 minutos por aula.

**Quadro 01** – Organização da sequência didática sobre educação ambiental e mudanças climáticas para o 4º e 5º ano do ensino fundamental

<b>Aula</b>	<b>Problemática</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Habilidades BNCC</b>	<b>Conteúdos</b>	<b>Componentes curriculares</b>
1. Percepção Local: Tempo climático.	Qual a distinção entre clima e tempo atmosférico?	Diferenciar o clima do tempo atmosférico.	Entender os movimentos do planeta e sua relação com a circulação geral da atmosfera, o tempo atmosférico e os padrões climáticos BNCC - EF06GE03	O clima e o tempo atmosférico.	Como sugestão, esta sequência didática poderá envolver os componentes curriculares de ciências e geografia através de uma abordagem interdisciplinar.
2. Reações do Aquecimento global e do efeito estufa nas mudanças climáticas	Será que o homem consegue mudar o clima da terra?	-Explorar as razões e as consequências do aquecimento global e sua relação com as mudanças climáticas. - Entender o que é o efeito estufa.	Descrever o mecanismo natural do efeito estufa, seu papel fundamental para o desenvolvimento da vida na Terra, discutir as ações humanas responsáveis pelo seu aumento artificial (queima dos combustíveis fósseis, desmatamento, queimadas etc.) e selecionar e implementar propostas para a reversão ou controle desse quadro. BNCC - EF07CI13	-Aquecimento global e efeito estufa.	Como sugestão, esta sequência didática poderá envolver os componentes curriculares de Ciências, Geografia, e História, através de uma abordagem interdisciplinar.
3. Mudança Climática	As mudanças climáticas podem prejudicar a minha vida?	Conhecer as causas e consequências das mudanças climáticas. - Conhecer o IPCC	Discutir iniciativas que contribuam para restabelecer o equilíbrio ambiental a partir da identificação de alterações climáticas regionais e globais provocadas pela intervenção humana. BNCC - EF08CI16	Mudanças climáticas	Como sugestão, esta sequência didática poderá envolver os componentes curriculares de Ciências, Geografia, Língua Portuguesa e através de uma abordagem interdisciplinar.

4. Combatendo as mudanças climáticas	Como posso ajudar a conter os impactos das mudanças climáticas?	Aprender que minhas ações podem ajudar a salvar o planeta.	Analisar distintas interações das sociedades com a natureza, com base na distribuição dos componentes físico-naturais, incluindo as transformações da biodiversidade local e do mundo. BNCC - EF06GE11	Mudanças climáticas e pegada ecológica.	Como sugestão, esta sequência didática poderá envolver os componentes curriculares de Ciências, Língua Portuguesa, Matemática e Geografia, através de uma abordagem interdisciplinar.
--------------------------------------	---	--	---	---	---

Fonte: Elaboração do autor, 2022.

## Dimensão pedagógica – Aula 01

### Percepção local: tempo climático

Nesta aula, serão abordados panoramas que compõem o tempo e o clima. Para isso, propomos sair do ambiente de sala de aula e fazer observações do tempo atmosférico. O professor(a) conduzirá os alunos e fará oralmente questionamentos sobre as condições climáticas do referido dia: como está o tempo hoje? Vocês gostam desse clima/tempo? Quais os tipos de clima/tempo vocês já presenciaram? O tempo/clima muda, ou permanece sempre igual?

Durante estes questionamentos, sugerimos ao professor(a) que estabeleça a relações entre o tempo e o clima e a formação das estações do ano. Seguindo a essas discussões, sugerimos conduzir os alunos à sala de aula, onde será solicitado o preenchimento de um questionário sobre as condições atmosféricas, conforme o modelo abaixo.

**Tabela 01** – Observação das condições atmosféricas

<b>Data:</b>	<b>Horário:</b>	<b>Estado:</b>
Município:		
Estação do Ano: ( ) primavera ( ) verão ( ) outono ( ) inverno		
Sensação térmica: ( ) Calor ( ) Frio ( ) Ameno		
Temperatura: ( ) em elevação ( ) em declínio ( ) estável		
Umidade do ar: ( ) seco ( ) úmido		
Nebulosidade do céu: ( ) sem nuvens ( ) poucas nuvens ( ) encoberto		
Chuvas: ( ) sem chuvas ( ) chovendo ( ) pode chover		
Ventos: ( ) sem ventos ( ) ventos fracos ( ) ventos fortes		

Fonte: Adaptado de Nova Escola, 2022.

Após a realização da atividade acima, propomos usar um dicionário da língua portuguesa na tentativa de conhecer e conseguir estabelecer diferenças entre o tempo e o clima. Com esta atividade, sugerimos realizar o exercício abaixo, que busca estabelecer as diferenças entre tempo e clima, a partir de conteúdos adaptados de Sette e Ribeiro (2011) e no site da BBC - News Brasil, com a seguinte questão: qual a diferença entre clima e tempo? Sugerimos também a exibição de um vídeo com duração de dois minutos sobre a mesma temática, também disponível no mesmo site.

**Tabela 02** – Questionário estabelecendo as diferenças entre tempo e clima

<b>Responda utilizando o numeral: ( 01 ) para o TEMPO e ( 02 ) para o CLIMA</b>	
É o estado momentâneo da atmosfera em um referido lugar.	
Ele está sempre mudando: pode mudar rapidamente, de uma hora para a outra, ou de maneira lenta, pode demorar dias e até semanas.	
Para definir é preciso vários anos de estudos e observações.	
É o modo e a dinâmica das condições atmosféricas (chuvas, ventos, temperaturas etc.) em um determinado local, que se repetem ao longo de alguns meses ou anos.	
Refere-se às condições da atmosfera registradas em um determinado período de tempo curto.	
Trata-se de um panorama mais distendido e com mais complexidade nos padrões de tempo.	

Fonte: Elaboração do autor, 2022.

Para a realização da avaliação, será sugerida a elaboração de um desenho em papel A4 que representa a estação do ano preferida do aluno (a), dando ênfase às principais características do clima predominante nesta estação. A avaliação será realizada de forma contínua levando em consideração a participação do aluno, o interesse, curiosidade e a relação estabelecida com os outros colegas, bem como a resolução das atividades propostas. O gabarito para as a tabela acima é: 01 – 01 – 02 – 01 – 02.

## Dimensão Pedagógica – Aula 02

### Reações do Efeito Estufa e do Aquecimento Global nas mudanças climáticas

Nesta etapa da sequência didática, serão abordados aspectos relacionados ao aquecimento global e ao efeito estufa nas mudanças climáticas. De forma introdutória, serão realizados questionamentos orais referentes ao que os alunos entendem sobre o aquecimento global, efeito estufa e mudanças climáticas, de forma que exista uma discussão sobre a temática e que desperte interesse na aula.

Na sequência, sugerimos a exibição de um vídeo do Instituto de Física da USP, disponível no youtube, intitulado: “Você sabe a diferença entre efeito estufa, aquecimento global e mudança climática?”<sup>1</sup> O vídeo de apenas três minutos responde de forma concisa a questões como: o que é o efeito estufa? Qual a relação desse fenômeno com o aquecimento global? Tempo e clima são as mesmas coisas? Como as mudanças climáticas impactam o nível do mar? A temperatura do planeta está mesmo subindo? Este vídeo é um excelente recurso didático sobre a temática estudada e felizmente existem inúmeros destes recursos disponíveis na internet. O uso de recursos didáticos de multimídia proporciona melhores condições de aprendizagens aos educandos em situações que seriam mais difíceis de serem concretizadas. O vídeo como recurso didático favorece a aprendizagem complexa e multifacetada, levando em consi-

---

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=RKQZrDcxUXA>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2023.

deração a sensibilidade e as emoções dos discentes. Com isso, possibilita a compreensão de uma variedade maior de conteúdos (SILVA; OLIVEIRA, 2010).

Dando continuidade, sugerimos que seja organizada uma pesquisa na internet para que os alunos venham buscar informações científicas sobre o efeito estufa e sobre o aquecimento global. O(A) professor(a) precisa orientar os alunos a realizarem uma leitura crítica dos textos encontrados e fazerem seus registros. A tabela abaixo pode ser reproduzida ampliando o espaço para serem colocadas as possíveis conclusões da pesquisa.

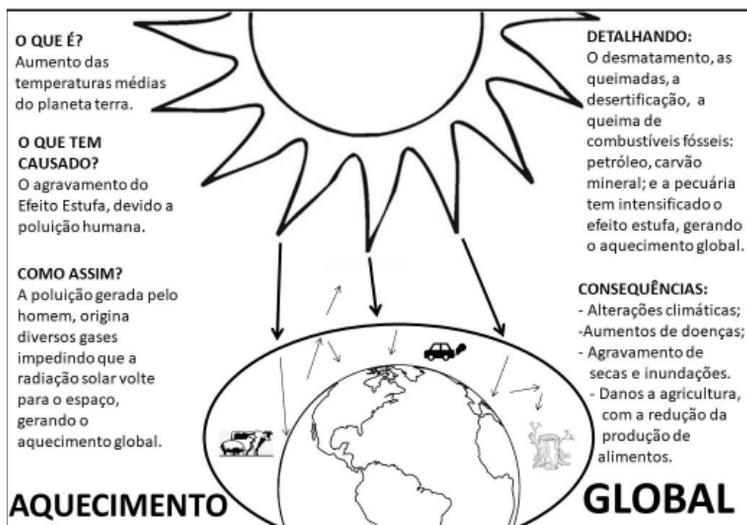
**Tabela 03** – Sugestão de questões sobre Efeito Estufa e o Aquecimento global a serem pesquisadas na internet

<ul style="list-style-type: none"><li>- Como acontece o efeito estufa?</li><li>- Causas do efeito estufa?</li><li>- Consequências do efeito estufa?</li></ul>	<p>O que você entende por aquecimento global?</p> <p>Quais as possíveis causas do aquecimento global?</p> <p>Quais as consequências do aquecimento global?</p>
---	--

Fonte: Elaboração do autor, 2022.

Para conclusão desta aula, elaboramos o mapa conceitual do aquecimento global, com muitas informações relevantes, conforme a Figura 01, para ser apreciado no encerramento deste momento, almejando alcançar os objetivos propostos de maneira mais didática.

**Figura 01** – Mapa conceitual do aquecimento global



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Para a realização da avaliação desta etapa, sugerimos responder a um questionário sobre os principais pontos estudados em Efeito estufa e Aquecimento Global. Também serão avaliados a participação do aluno, o interesse, curiosidade e a relação estabelecida com os colegas.

**Tabela 04** – Questionário sobre o efeito estufa e o aquecimento global

Escreva (V) para verdadeiro e (F) para falso, nas questões abaixo.	V	F
O efeito estufa é uma ocorrência natural que é potencializado pelas ações humanas; assim a sua principal consequência é o aumento da temperatura terrestre.		
As atividades de reflorestamento não são de importância para a diminuição da ação do efeito estufa.		

O aumento das temperaturas pode resultar em prejuízos ambientais, econômicos e em desastres naturais.		
Aquecimento global não pode ocasionar períodos sem chuvas em determinadas regiões.		
Queimadas, poluição do ar e desmatamento não causam o aquecimento global.		
O aquecimento global pode causar a redução de ofertas de alimentos no mundo.		

Fonte: elaboração do autor, 2022.

Os conteúdos das questões sobre aquecimento global foram adaptados do mapa mental de Sousa (2022), sugerido na aula. O gabarito para as questões são: V – F – V – F – F -V.

## Dimensão Pedagógica – Aula 03

### Mudanças Climáticas

Nesta etapa da sequência didática, serão abordados aspectos relacionados às mudanças climáticas. Sugerimos a leitura, que poderá ser realizada em dupla, do texto informativo intitulado “Mudanças Climáticas: causas e consequências”, das autoras Vanessa Sardinha dos Santos e Rafaela Sousa<sup>2</sup>.

Após a leitura sugerida, segue as orientações:

- a) A turma deve ser dividida em grupos; de forma que cada grupo fique com um parágrafo do texto;

---

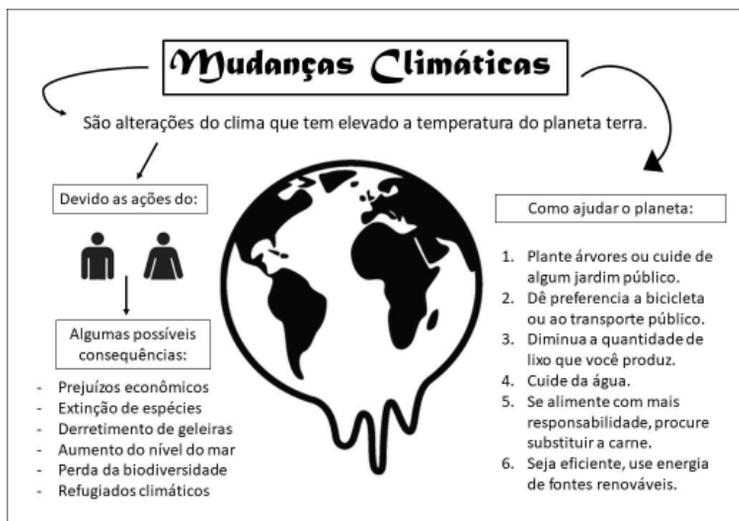
<sup>2</sup> Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/mudancas-climaticas.htm>. Acesso em 06 de fevereiro de 2023.

b) Cada grupo irá, através de desenhos realizados em cartolinas, colocar seu entendimento do parágrafo selecionado;

c) Apresentação do cartaz para todos os grupos.

Para que o professor(a) faça as considerações finais da aula, sugerimos a visualização do mapa mental “Mudanças Climáticas”, conforme Figura 2.

Figura 02 – Mapa mental - Mudanças Climáticas



Fonte: elaborada pelo autor, 2022.

Para a realização da avaliação, será observada a participação do aluno em sua apresentação, seu interesse, curiosidade e a relação estabelecida com os colegas, bem como a resolução das atividades propostas. O(A) professor(a) deve terminar este momento da aula fazendo a seguinte reflexão com os

alunos: quais problemas referentes às mudanças climáticas podem afetar a mim e aos meus familiares?

## Dimensão pedagógica – Aula 04

### Combatendo as mudanças climáticas

Nesta etapa conclusiva da sequência didática, serão abordados aspectos relacionados às ações mitigadoras em mudanças climáticas. Inicialmente, sugerimos a exibição de dois vídeos. O primeiro é intitulado “Mudanças climáticas para crianças<sup>3</sup>”, produzido pela Smile and Learn – Português, com apenas cinco minutos de duração, disponível no youtube. O vídeo aborda os conteúdos em mudanças climáticas de forma muito didática e bastante coesa, abrangendo todas as aulas desenvolvidas em nossa sequência didática. A segunda sugestão recheada de conteúdo é a exibição do vídeo “Mudanças climáticas: vinte maneiras de evitar<sup>4</sup>”; produzido pelo Nossa Ecologia, com seis minutos de duração, disponível no youtube. O vídeo busca abranger todas as maneiras de como podemos evitar as mudanças climáticas, de maneira muito eficiente.

Após a exibição dos vídeos, sugerimos uma roda de conversa sobre os principais pontos observados nas sessões. As rodas de conversa abordam questões em torno de um assunto e, no processo dialógico, os envolvidos podem apresentar suas considerações, mesmo contraditórias, de maneira que

---

3 Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=PH5halrNnfl>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2023.

4 Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ojU0oU0C-Nk>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2023.

cada pessoa deve estimular a outra a falar, para que seja viável se posicionar e ouvir o posicionamento do outro. Destarte, ao mesmo tempo em que as pessoas falam suas histórias, buscam compreendê-las por meio do exercício de pensar compartilhado, o que dá significado aos acontecimentos (MÉLLO *et al.*, 2007).

Dando continuidade, faremos uso da elaboração e aplicação de um questionário. Segundo Parasuraman (1991), um questionário consiste de perguntas elaboradas com intuito de gerar informações necessárias para se alcançar os objetivos do projeto. Elaborar um questionário não é uma atividade simples, requer muito conhecimento, tempo e esforço. Não devem existir padrões para a criação de questionários, entretanto existem sugestões de diversos autores referente a este relevante instrumento da pesquisa científica. Para Chagas (2000, p. 15), “a construção de um questionário deriva de um processo de melhoria, fruto de tantos exames e revisões quantas forem necessárias.” Cada questão deve ser minuciosamente analisada, para garantir se é mesmo importante, se não é ambígua ou até mesmo de difícil entendimento. Todas as indagações quanto ao conteúdo, forma e redação devem ser realizadas, visando a eficiência e coesão e finalidade do questionário.

Neste contexto, buscamos desenvolver um instrumento que viesse embasar toda a nossa sequência didática e que contribuísse para alcançar os objetivos propostos da pesquisa. Os conteúdos para a elaboração dos questionários foram adaptados dos seguintes sites: [ciclovivo.com.br](http://ciclovivo.com.br), teste se você tem práticas sustentáveis, um conteúdo de Márcia Sousa, 2016; e o site <http://www.ufbaecologica.ufba.br/> de onde adaptamos o

conteúdo: Questionário para a estimativa da sua pegada ambiental. Com base nestes conteúdos criamos a Tabela 05, indispensável nesta sequência didática.

**Tabela 05** – Quem é você na proteção ao meio ambiente?

<b>Questões:</b>	<b>Opções/Pontuação</b>			
<b>SOBRE MEIOS DE TRANSPORTE - QUAL VOCÊ PREFERE USAR?</b>	A	B	C	Pontuação
A - ( ) Carro próprio.				
B - ( ) Ônibus ou trem.				
C - ( ) Bicicleta.				
<b>SE VOCÊ FOSSE COMPRAR UM CARRO, ESCOLHERIA:</b>	A	B	C	Pontuação
A - ( ) Um automóvel movido a gasolina.				
B - ( ) Um automóvel híbrido a gasolina e energia.				
C - ( ) Um automóvel elétrico, movido a energia.				
<b>SOBRE MEIOS DE TRANSPORTE - SE VOCÊ PUDESSE ESCOLHER:</b>	A	B	C	Pontuação
A - ( ) Compraria um carro mesmo sabendo que causaria poluição.				
B - ( ) Compraria um carro que poluísse menos o meio ambiente.				
C - ( ) Escolheria em não ter um carro, e utilizaria o transporte público, como ônibus e trens e poluiria menos ainda.				
<b>SOBRE A ALIMENTAÇÃO:</b>	A	B	C	Pontuação

A - ( ) Gosto de comer de tudo, e não procuro saber de onde vem os alimentos.				
B - ( ) Às vezes recuso alguns alimentos, por saber que para sua produção houve danos meio ambiente				
C - ( ) Procuro sempre ter uma dieta saudável e que respeite o meio ambiente.				
<b>SOBRE A ALIMENTAÇÃO:</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Pontuação</b>
A - ( ) Gosto e procuro sempre comer carne.				
B - ( ) Como legumes, carnes e produtos industrializados.				
C - ( ) Se pudesse comeria mais verduras e legumes.				
<b>VOCÊ SABIA QUE PARA A PRODUÇÃO DE CARNE VERMELHA, O MEIO AMBIENTE SOFRE MUITAS AGRESSÕES, COMO DESMATAMENTO E QUEIMADAS?</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Pontuação</b>
A - ( ) Não sabia.				
B - ( ) Sabia mas não entendia.				
C - ( ) Tenho conhecimento sim e entendendo a questão.				
<b>SOBRE A ALIMENTAÇÃO:</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Pontuação</b>
A - ( ) Sempre sobra comida no meu prato.				
B - ( ) Às vezes desperdiço sim um pouco de comida.				
C - ( ) Eu não desperdiço alimentos.				
<b>SOBRE A PRODUÇÃO DOS ALIMENTOS:</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Pontuação</b>

A - ( ) Não me preocupo muito de onde vem seus alimentos.				
B - ( ) Continuaría comprando tudo no supermercado.				
C - ( ) Produziria meus alimentos, como verduras e legumes, fazendo uma horta em minha casa.				
NORMALMENTE, QUANTO TEMPO VOCÊ GASTA PARA TOMAR UM BANHO?	A	B	C	Pontuação
A - ( ) Mais de 15 minutos				
B - ( ) Aproximadamente 5 a 10 minutos				
C - ( ) Menos de 5 minutos				
DURANTE A ESCOVAÇÃO DOS DENTES:	A	B	C	Pontuação
A - ( ) Deixo sempre a torneira aberta.				
B - ( ) Às vezes fico abrindo e fechando.				
C - ( ) Só abro a torneira quando é preciso.				
QUANDO VOCÊ SAI DOS CÔMODOS, VOCÊ COSTUMA APAGAR AS LUZES?	A	B	C	Pontuação
A - ( ) Quase nunca lembro de apagar.				
B - ( ) Algumas vezes lembro de apagar.				
C - ( ) Sempre lembro de apagar.				
VOCÊ DEMORAR MUITO TEMPO COM A PORTA DA GELADEIRA ABERTA?	A	B	C	Pontuação

A - ( ) Muitas vezes me demoro				
B - ( ) Raras vezes demoro um pouco p/ achar o que quero				
C - ( ) Não demoro muito, penso sempre no que vou pegar antes, para depois abrir.				
VOCÊ COSTUMA SEPARAR SEU LIXO DE ACORDO COM OS MATERIAIS?	A	B	C	Pontuação
A - ( ) Não, não me importei com isso.				
B - ( ) Faço a separação, às vezes de papel ou garrafas				
C - ( ) Sim, em minha casa existem recipientes apropriados para cada tipo de lixo.				
VOCÊ SABE PARA ONDE VAI O LIXO QUE VOCÊ PRODUZ EM SUA CASA?	A	B	C	Pontuação
A - ( ) Não sei.				
B - ( ) Mais ou menos.				
C - ( ) Sei sim.				
VOCÊ ECONOMIZA ÁGUA EM SUA CASA?	A	B	C	Pontuação
A - ( ) Não, nunca pensei sobre este assunto.				
B - ( ) Economizo água, mas preciso melhorar.				
C - ( ) Sempre procuro economizar água.				
EM RELAÇÃO ÀS COMPRAS – SE VOCÊ PUDESSE:	A	B	C	Pontuação

A - ( ) Compraria de tudo que visse na frente.				
B - ( ) Compraria mesmo sem estar precisando.				
C - ( ) Compraria só o que precisaria, para preservar os recursos da natureza.				
EM RELAÇÃO À SUA CASA - SE VOCÊ PUDESSE:	A	B	C	Pontuação
A - ( ) Compraria uma casa enorme, mesmo sem precisar de tudo isso.				
B - ( ) Queria uma casa confortável, sem se importar com ela foi construída.				
C - ( ) Compraria uma casa que em sua estrutura fosse usado meios que respeitasse o meio ambiente, mesmo que custasse mais dinheiro.				
AO FAZER UMA FESTA, QUAL TIPO DE MATERIAL VOCÊ COSTUMA UTILIZAR PARA SERVIR OS CONVIDADOS?	A	B	C	Pontuação
A - ( ) Uso produtos descartáveis como pratos, copos e talheres.				
B - ( ) Em alguns momentos utilizo cerâmica, como os pratos, mas ainda prefiro recorrer aos de plásticos descartáveis.				
C - ( ) procuro utilizar apenas produtos de cerâmica e vidro, para não produzir grande quantidade de lixo.				

Fonte: Elaboração do autor, 2022.

As instruções para se obter o perfil de proteção ambiental dos alunos seguirão os seguintes estágios: após o concluir o preenchimento do questionário, que se dará mediante a escolha de uma questão entre as opções A, B ou C, será gerado um

valor numérico para cada questão. No final, toda a pontuação deverá ser somada e se obterá o perfil de proteção ambiental dos alunos participantes.

Pontuação: para cada resposta A, acrescente 1 ponto. Para cada alternativa B, 5 pontos. Por fim, na C, some 10 pontos. Observe os resultados:

Até 60 pontos: é preciso melhorar sua relação com o meio ambiente e passar a ter atitudes ecologicamente corretas caso queira construir um mundo melhor para você e as próximas gerações. (COR VERMELHA = PARE DE AGIR ASSIM).

De 60 a 135 pontos: você é uma pessoa atenta com as questões ambientais, mas ainda precisa melhorar e ter práticas sustentáveis em sua vida. (COR AMARELA = ALERTA, PRESTE MAIS ATENÇÃO).

Mais de 135 pontos: você é um amigo do meio ambiente, está fazendo a sua parte para reduzir a poluição ao meio ambiente. Parabéns! (COR VERDE = PROSSIGA AGINDO ASSIM).

Para este momento de conclusão da sequência didática sobre educação ambiental e mudanças climáticas, sugerimos que cada aluno produza um texto dissertativo-argumentativo sobre as mudanças climáticas, com base em todas as aulas desta sequência didática. Para a realização da avaliação, serão observados a participação do aluno, seu interesse, curiosidade e a relação estabelecida com os colegas, bem como a resolução das atividades propostas. O(A) professor(a) deve parabenizar os alunos que obtiveram êxito na proteção e preservação ambiental e estimular os demais para a mudança de atitude em salvaguardar os nossos recursos naturais.

**Tabela 05** – Resumo dos recursos didáticos utilizados na sequência didática

<b>Sequência Didática: Recursos utilizados</b>	
Aula 01	<ul style="list-style-type: none"><li>- Reproduzir a tabela 01: Observação das condições atmosféricas para o número de alunos necessário.</li><li>- Providenciar dicionário da língua portuguesa para os alunos fazerem consulta.</li><li>- Reproduzir a tabela 02: Questionário estabelecendo as diferenças entre tempo e clima.</li><li>- Vídeo: Qual a diferença entre clima e tempo? Disponível em: BBC News Brasil</li></ul>
Aula 02	<ul style="list-style-type: none"><li>- Vídeo: Você sabe a diferença entre efeito estufa, aquecimento global e mudança climática? Disponível em: <a href="https://youtu.be/RKQZrDcxUXA">https://youtu.be/RKQZrDcxUXA</a></li><li>- Reproduzir a sugestão de questões sobre Efeito Estufa e o Aquecimento Global a serem pesquisadas na internet.</li><li>- Imprimir o mapa mental: aquecimento global,</li><li>- Reproduzir a Tabela 04: Questionário sobre o Efeito Estufa e o Aquecimento Global</li></ul>
Aula 03	<ul style="list-style-type: none"><li>- Reproduzir o texto informativo: Mudanças Climáticas.</li><li>- Cinco cartolinas para elaboração dos desenhos.</li><li>- Imprimir o mapa mental das mudanças climáticas.</li></ul>
Aula 04	<ul style="list-style-type: none"><li>- Vídeo: Mudanças climáticas para crianças, Disponível em: <a href="https://youtu.be/PH5halrNnfl">https://youtu.be/PH5halrNnfl</a></li><li>- Vídeo: Mudanças climáticas: vinte maneiras de evitar; Disponível em: <a href="https://youtu.be/ojUOoU0C-Nk">https://youtu.be/ojUOoU0C-Nk</a></li><li>- Reproduzir a tabela 04: Quem é Você na Proteção ao Meio Ambiente?</li><li>- Folhas de A4, de acordo com o número de alunos, para o desenvolvimento da produção textual.</li></ul>

Fonte: Elaboração do autor, 2022.

A presente tabela ajudará o (a) professor(a) durante a fase de planejamento de cada aula da presente sequência didática, pois facilita a visualização da lista com todos os recursos didáticos a serem utilizados em todo o planejamento.

## Considerações finais

O presente trabalho nos possibilitou concluir que refletir sobre a educação ambiental e mudanças climáticas através da elaboração de uma sequência didática para os alunos dos anos iniciais do ensino fundamental - 4º e 5º anos, é de extrema relevância em busca de salvaguardar nossos recursos naturais para a presente e futuras gerações. Assim, a metodologia de estudo empregada no desenvolvimento da Sequência Didática demonstra que é relevante explorar um conteúdo utilizando diferentes recursos didáticos como vídeos, leituras, reflexões, discussões e críticas. Nessa perspectiva, é relevante que os alunos descubram que eles também têm responsabilidades no processo de ensino-aprendizagem e que não podem aguardar apenas que o professor tenha as respostas e ofereça as soluções. Assim, com as estratégias de ensino interligadas, os discentes procuram estas soluções em conjunto. O docente deve deixar de simplesmente transmitir conhecimentos para assumir o papel de protagonismo de situações estimuladoras, e as sequências didáticas favorecem isso (FRANCO, 2018).

Com a presente sequência didática, buscamos entender, perceber e compreender que ao aplicar uma política que promova a importância da educação ambiental e mudanças climáticas voltada principalmente para a sustentabilidade já nas escolas primárias, possibilitaríamos que novas gerações obtivessem uma nova e devida mentalidade de preservação socioambiental, o que, depois, será muito mais simples do que programar ações políticas que visem a utilização sustentável de nossos recursos naturais. Nessa perspectiva, a Educação Ambiental pode ser “uma forma de recurso do qual se pode

instigar nas pessoas o interesse pela preservação do meio em que vivemos e assim ter-se uma sustentabilidade devida e correta” (ROSS; BECKER, 2012, p. 17).

Neste arremate, a presente ferramenta da sequência didática em educação ambiental e mudanças climáticas cumpre com seu propósito de contribuir para a mitigação das ações antrópicas em relação às mudanças climáticas a partir da educação. Salientamos que o presente instrumento se encontra em fase de validação e que nossa intenção é que no futuro ela seja disseminada para diferentes escolas dos anos iniciais do ensino fundamental.

## Referências

BARBADO, N.; LEAL, A. C. . Global cooperation on climate change and implementation of SDG 6 in Brazil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. e29110313290, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i3.13290. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13290>. Acesso em: 25 mar. 2023.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura. **Lei 9795 de 27 de abril de 1999**, publicada em Diário Oficial da União em 28 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências - 1999.

CARNEIRO, Rosângela Maria Adriano. **O ensino e a aprendizagem em química e educação ambiental na perspectiva CTSA: um estudo descritivo** - Repositório Institucional UFC – 2019. <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/39998>. Universidade Federal do Ceará, Acesso em 06 de fevereiro de 2023.

CAVALCANTI, Marcello Henrique da Silva; RIBEIRO, Matheus Marques; BARRO, Mario Roberto. Planejamento de uma sequência didática sobre energia elétrica na perspectiva CTS. **Ciência & Educação** (Bauru), v. 24, p. 859-874, 2018.

CHAGAS, Anivaldo Tadeu Roston. O questionário na pesquisa científica. **Administração on-line**, v. 1, n. 1, p. 25, 2000.

FARIA, Daniela Resende de; RAMOS, Maria Carolina; COLTRI, Priscila Pereira. Sequência Didática como estratégia para ensino sobre desafios socioambientais relacionados às Mudanças Climáticas. **Terra e Didática**, v. 17, p. e021052-e021052, 2021.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UECE, 2002.

FRANCO, D. L. A importância da sequência didática como metodologia no ensino da disciplina de Física moderna no Ensino Médio. **Revista Triângulo**, Uberaba - MG, v. 11, n. 1, p. 151-162, 2018.

GUIMARÃES, Mauro. **Educação ambiental crítica**. Identidades da educação ambiental brasileira. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 25-34, 2004.

JUNGES, Alexandre Luis *et al.* Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**. Cuiabá. Vol. 13, n. 5 (dez. 2018), p. 126-151, 2018.

LIMA, Gleice Prado. Educação ambiental crítica: da concepção à prática. REVERSEA - **Revista Sergipana de Educação Ambiental**. São Cristóvão-SE | V. 1 | Nº 2 | 2015.

LIMA, Gustavo Ferreira da Costa, Educação Ambiental e Mudança Climática: convivendo em contextos de incerteza e complexidade. **Ambiente & Educação**, v. 18, n. 1, p. 91-112, 2013.

LOUREIRO, Carlos Frederico Bernardo. **Educação ambiental transformadora**. Identidades da educação ambiental brasileira. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 65-84, 2004.

LOUREIRO, C. F. B; COSSIO, M. F. B. Educação ambiental crítica: desafios e possibilidades. In: MELLO, S. S.; TRAJBER, R. (Org.). **Vamos cuidar do Brasil**: conceitos e práticas em educação ambiental na escola: considerações iniciais sobre os resultados do projeto “O que fazem as escolas que dizem que fazem educação ambiental”. Brasília: Ministério da Educação, Coordenação Geral de Educação Ambiental: Ministério do Meio Ambiente, Departamento de Educação Ambiental: UNESCO, 2007.

LOUREIRO, Carlos Frederico B. **Trajetória e fundamentos da educação ambiental**. 4. ed. São Paulo: Cortez Editora, 2012.

MACHADO, Anna Rachel; CRISTOVÃO, Vera Lúcia Lopes. A construção de modelos didáticos de gêneros: aportes e questionamentos para o ensino de gêneros. **Linguagem em (Dis)curso**, v. 6, n. 3, p. 547-573, 2006.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. Atlas, 2003.

MÉLLO, R. P. *et al.* Construcionismo, práticas discursivas e possibilidades de pesquisa. **Psicologia e Sociedade**, v.19, n.3, p. 26-32, 2007.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. Porto Alegre: Sulina, 2005.

PARASURAMAN, A. **Marketing research**. 2. ed. Addison Wesley Publishing Company, 1991.

RIBEIRO, Flávia Nascimento. Edgar Morin, o pensamento complexo e a educação. **Pró-Discente**, v. 17, n. 2, 2011.

ROOS, A.; BECKER, E.L.S., Educação Ambiental e Sustentabilidade. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental- REGET/UFSM** v. n°5, p. 857 -866, 2012.

SALOMON, Délcio Vieira. **Como fazer uma monografia: Elementos de metodologia do trabalho científico**. Belo Horizonte: Interlivros, 1974.

SANT'ANNA, F. M. *et al.* **Planejamento de ensino e avaliação**. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1995.

SETTE, Denise Maria; RIBEIRO, Helena. Interações entre o clima, o tempo e a saúde humana. **InterfacEHS** - Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 6, n. 2, 2011.

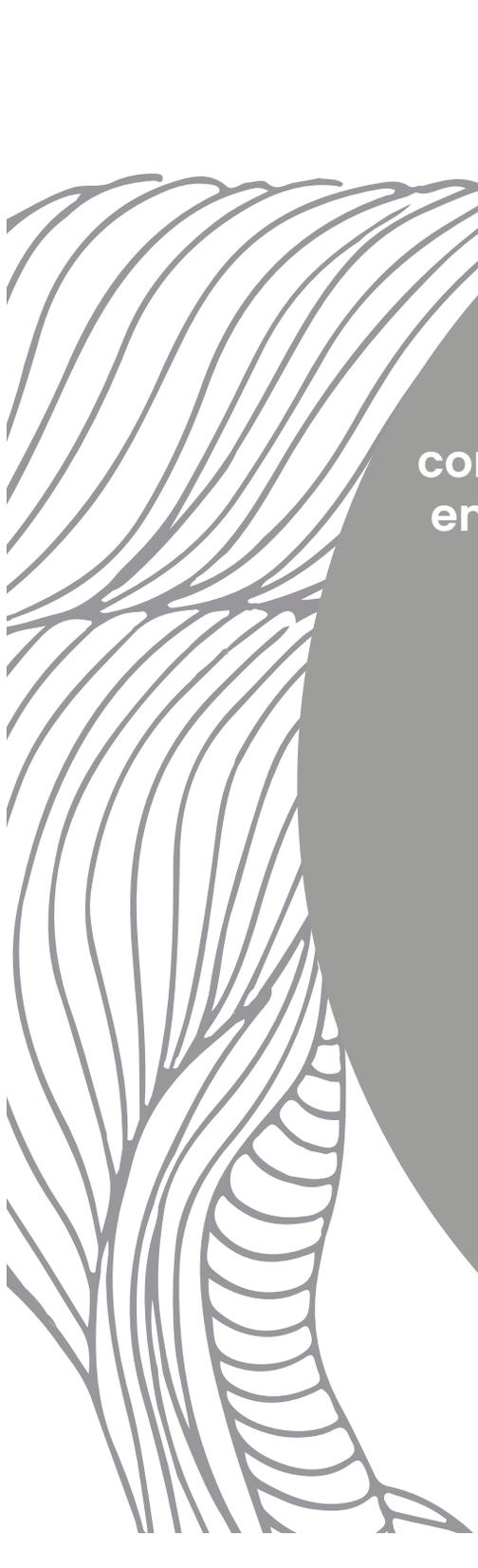
SILVA, R. V.; OLIVEIRA, E. M. As possibilidades do uso do vídeo como recurso de aprendizagem em salas de aulas do 5º ano. In: **Encontro de Pesquisa em Educação de Alagoas**, 5., 2010, Maceió. Atas... Alagoas: Universidade Federal de Alagoas, 2010.

SILVA, Ana Paula Santos *et al.* Mudanças climáticas como tema gerador no ensino de ciências na educação básica Climate change as a generator topic in physics teaching in basic education. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 7, p. 69453-69471, 2021.

SILVA, F.; AGUIAR, M.; FARIAS, M. E. Mudanças climáticas e suas implicações: trabalhando educação ambiental com alunos do 6º ano do Ensino Fundamental. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 11, n. 2, p. 173-189, 30 mar. 2020.

VASCONCELLOS, C. S. **Planejamento:** plano de ensino-aprendizagem e projeto educativo. São Paulo: Libertad, 1995

ZABALA, A. **A prática educativa:** como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 224p. 1998.



# Alternativas para a substituição de combustíveis fósseis em motores de ciclo diesel:

Uma revisão a  
partir de conceitos,  
características e  
possíveis tendências

Danielle Domingos da Silva  
Joyce Aline Oliva Rodrigues Alves  
Leandro Silva Costa  
João Teixeira de Carvalho Neto  
André Luiz Lopes Toledo

---

# Introdução

A utilização de subprodutos oriundos de matéria-prima fóssil não é de hoje. Desde o século XIX, já há registros de exploração e utilização de petróleo, carvão mineral e gás natural. Todavia, historiadores defendem que a utilização do petróleo remete aos primórdios da civilização, de acordo com Gonçalves (2010). As produções de subprodutos tendo como matéria-prima o petróleo se expandem desde combustíveis até plásticos, borrachas, cosméticos, fármacos e até mesmo alcatrão.

Com o passar dos anos e o desenvolvimento das tecnologias, a dependência à utilização de petróleo foi se intensificando. Até os dias de hoje, grande parcela dos automóveis são movidos a combustíveis fósseis. Aeronaves, por exemplo, têm seu funcionamento ativado exclusivamente ao querosene ou a gasolina de aviação, que também são subprodutos do petróleo, segundo Farah (2013).

No cotidiano de qualquer indivíduo, os plásticos usados tanto para armazenar comida como materiais de higiene e limpeza também são oriundos do petróleo. Quase 2 séculos após os primeiros registros da exploração do petróleo, a dependência que essa matéria-prima causou na sociedade é notável e clara.

Sabe-se também que dentre as indústrias mais poluentes e causadoras de impacto ambiental, está justamente a petrolífera. A título de exemplo, a queima de combustíveis de origem fóssil é capaz de originar a emissão de materiais particulados (conhecidos também como cinzas) e gases intensificadores do efeito estufa, além de, por consequência, provocar o aumen-

to dos efeitos do aquecimento global, conforme afirma Bosch (2005).

É nesse contexto que, nas últimas décadas, tem sido cada vez mais comum e reiterativa a chamada global por medidas alternativas ao uso exacerbado dos subprodutos do petróleo, objetivando tanto a diminuição das emissões de gases intensificadores do efeito estufa – que podem ser oriundas tanto dos meios industriais como também veículos, de modo geral – como também a preservação do planeta no tocante às alterações climáticas (cada vez mais intensas devido aos efeitos do aquecimento global) em prol das gerações futuras e da conservação do meio ambiente.

Na nossa realidade, já é possível encontrar inúmeros estudos, artigos e até mesmo países, como é o caso da Alemanha, que já aplicam biocombustíveis 100% puro – o biodiesel B100 – no abastecimento veicular, de acordo com Guitiérrez-Oppe (2013). Os biocombustíveis puros são aqueles que possuem sua composição 100% de origem animal, vegetal ou residual, sem que haja vestígios de quaisquer misturas com combustível fóssil. Os combustíveis limpos são configurados por aqueles combustíveis renováveis e de baixo impacto ambiental quando comparados aos efeitos que os combustíveis fósseis e não renováveis podem causar no meio ambiente e na própria qualidade de vida e saúde pública.

De modo geral, os biocombustíveis são configurados como os combustíveis desenvolvidos por intermédio de biomassa. Isso quer dizer que suas principais fontes de matérias-primas mais comercialmente utilizadas são: a soja, a cana-de-açúcar, o milho e o girassol. Assim, através dessas matérias-primas, a produção de combustíveis renováveis como etanol e biodiesel

é possível, aplicados como forma alternativa para a substituição aos combustíveis de primeira geração, a gasolina e diesel, por exemplo, de grande demanda.

A base metodológica da presente pesquisa incide em uma revisão bibliográfica consistente basicamente em uma análise literária de origem confiável. Em face ao exposto, as informações coletadas para fins deste trabalho serão expostas de maneira simples, dinâmica no tocante às alternativas renováveis e limpas que já atuam e estão sendo analisadas como medida alternativa ao combustível fóssil, objetivando um maior entendimento do leitor teve acesso a essa revisão bibliográfica. Como a presente pesquisa é caracterizada por um trabalho de índole teórica, implica dizer que não haverá a constatação de quaisquer práticas experimentais durante a realização da pesquisa.

O primeiro passo foi realizar uma busca nas bases de dados digitais do âmbito das energias, referências pertinentes ao assunto em outras plataformas científicas, tais como: Scielo, Elsevier, Biblioteca Virtual, Revista Brasileira de Energias Renováveis, Energia Brasileira de Energia, Science Direct, Capes Periódicos, ELSEVIER, Google Acadêmico, além de livros e sites para a sustentação do referencial teórico abordado e, principalmente, dos dados pertinentes às alternativas ao petróleo e gás natural que podem ser utilizadas como combustíveis.

Salienta-se que o uso dos meios digitais para integrar a sustentação teórica da pesquisa se deu pelo fato de que eles correspondem às principais plataformas de publicação e compilação de artigos científicos pertinentes às energias renováveis como alternativa para serem aplicadas como combustíveis automotivos.

Os critérios de inclusão dos artigos para a realização da presente revisão bibliográfica foram as seguintes:

I) Utilização de referências envolvendo a temática, dando ênfase a publicações entre 2012 e 2022;

II) Explícita abordagem das normas, leis e jurisdições no que diz respeito às características, aplicabilidades e especificações relacionados aos combustíveis automotivos renováveis;

III) Inclusão de pesquisas científicas e estudos no idioma inglês e português, dando-se ênfase a estudos publicados nos últimos 10 anos;

IV) Presença de evidências científicas comprovadas acerca do tema que conduz à escrita da presente revisão bibliográfica; e

V) Construção do texto com base na nota técnica “Combustíveis renováveis para uso em motores do ciclo Diesel” desenvolvida pela EPE - Empresa de Pesquisa Energética.

A revisão realizada priorizou os artigos publicados mais recentemente que abordam a temática em estudo. Os unitermos utilizados para a busca que compôs a base bibliográfica do estudo foram as seguintes: “energias renováveis”, “combustíveis fósseis”, “energias limpas”, “combustíveis renová-

veis”, “energias”, “combustíveis renováveis para motores ciclo Diesel” e “motores Diesel”.

O intuito geral da presente revisão bibliográfica consiste em levantar informações e estudos relacionados às alternativas atuais e futuras de combustíveis renováveis que são utilizados como substituição ao uso massivo de combustível de origem fóssil, em específico ao ciclo diesel. Além disso, este trabalho busca atender aos seguintes questionamentos:

I) Quais são os conceitos gerais que circundam os combustíveis renováveis?

II) Quais são os principais tipos de combustíveis renováveis utilizados no Brasil?

III) Há prós e contras da utilização de combustíveis alternativos ao diesel? Quais são eles? e

IV) Quais são exemplos práticos das tendências de combustíveis renováveis, aplicados em veículos e máquinas, nos dias de hoje?

## Desenvolvimento teórico

### Introdução à motores ciclo diesel

Um motor de combustão interna (MCI) representa uma fonte de energia mais utilizada em veículos automotivos, de modo geral. Os MCI são aqueles que, de acordo com a BOSCH (2005), são capazes de gerar energia por intermédio da energia química contida no combustível em calor, originan-

do o trabalho mecânico. Essa conversão é realizada através da combustão do combustível. Para que haja a combustão, é necessária a presença das seguintes condições: o combustível, o oxigênio e o calor (a energia).

Os motores de combustão interna podem ser classificados levando em consideração algumas variáveis (BOSCH, 2005): o tipo de processo (combustão interna ou externa); tipo de combustão (cíclica ou contínua); tipo de máquina (motor/máquina contendo uma câmara de serviço - Diesel, híbrido, ignição por centelha, Rohs, Stiling e vapor; turbina/turbina de gás - gás, vapor quente e vapor); e o tipo de mistura (homogênea e heterogênea). Os motores Diesel e a ignição por centelha (conhecidos também como ciclo Otto) são os mais utilizados comercialmente.

Os motores ciclo Diesel podem ser caracterizados como máquinas capazes de transformar energia térmica em energia mecânica. Desse modo, a queima de um combustível é realizada através do movimento de compressão dos componentes móveis de uma câmara de combustão (VARELLA & SANTOS, 2010).

Isso quer dizer que, de acordo com a BOSCH (2005), os motores a Diesel são aqueles que durante a fase de admissão, comprimem o ar a uma pressão de aproximadamente de 35-55 bar (em motores aspirados de forma natural) e 80-110 bar (em motores sobrealimentados), de modo a elevar a temperatura do ar, uma vez comprimido, em 700-900°C. Assim, como consequência, induz a autoignição no combustível que é injetado nos cilindros momentos antes que ocorra a compressão, uma vez que o pistão vai se aproximando do Ponto Morto Superior (PMS). Isso ocorre porque a velocidade linear do pistão

é superior a velocidade de propagação da queima da mistura ar-combustível.

Até 2010, de acordo com Varella e Santos (2010), os combustíveis utilizados até então por motores de ciclo diesel eram: o óleo diesel, o biodiesel e o álcool. Considerando que até os dias de hoje, o óleo diesel ainda corresponde ao combustível mais utilizado nesse tipo de motor, a realidade exposta anteriormente, de 2010, vem se alterando cada vez mais com o passar dos anos, com o surgimento de novas opções para a substituição ao óleo diesel.

É sabido que o óleo diesel corresponde a um dos subprodutos da destilação do petróleo. Obtido em uma temperatura média de 260°C, o diesel é constituído de uma cadeia de hidrocarbonetos composta de átomos de carbono, hidrogênio e porções de nitrogênio, enxofre e oxigênio. Ao ser submetido em elevadas temperaturas na câmara de combustão de um motor, é capaz de emitir diversos gases, como CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, óxidos de enxofre, hidrocarbonetos e até mesmo Materiais Particulados (MP).

A BOSCH (2005) segue reafirmando que, em condições ideais, a queima de um combustível fóssil originaria produtos como a água e o dióxido de carbono. Todavia, na prática, o que acontece é uma queima incompleta, que corresponde à emissão de outros gases além do CO<sub>2</sub>, como os hidrocarbonetos não queimados (parafinas, olefinas, hidrocarbonetos aromáticos), parcialmente queimados (como os ácidos carboxílicos, cetonas, monóxidos de carbono, aldeídos), os acetilenos, etilenos, hidrogênio, a fuligem e, ainda, hidrocarbonetos policíclicos.

O óleo diesel corresponde a um combustível de estado líquido e origem fóssil, petróleo, aplicado com motores que apresentam o ciclo Diesel, ou seja, motores de combustão interna e de ignição por compressão, segundo a Petrobras (2021). É aplicado em veículos com características de gerar energia e movimentar máquinas e motores de grande porte, de acordo com Gonçalves (2010), mencionando-se como exemplo: tratores, caminhões, ônibus e embarcações marítimas, locomotivas, navios, além de máquinas estacionárias.

Como forma de agregar informação, é importante falar sobre os veículos rodoviários, movidos à óleo diesel. Esses veículos são representados como sendo aqueles de grande porte e que transportam cargas pelas rodovias do país. São classificados de acordo com o Peso Bruto Total (PBT), o número de eixos e a classe à qual correspondem.

A frota no Brasil, em 2020, segundo a CNT (2020), representou cerca de 107,2 milhões de veículos e foi responsável pela emissão atmosférica de 102 milhões de toneladas de gás carbônico, representando 52% das emissões no setor de transportes no ano de 2019, conforme afirma o Instituto de Energia e Meio Ambiente (2020).

Motores diesel são aplicados e classificados de 4 maneiras básicas, de acordo com Boulanger e Adam (1978): estacionários, industriais, veiculares e marítimos. Os estacionários correspondem por máquinas estacionárias, podendo-se mencionar, por exemplo, geradores e máquinas de solda, além de máquinas que operam em rotação constante. Os industriais, por sua vez, são os que representam as máquinas voltadas para a construção civil, como é o caso de guindastes, compressores de ar e veículos de operação fora-de-estrada. Já os

veiculares fazem referência ao acionamento de veículos de transporte como os caminhões e ônibus. Por fim, os marítimos representam aqueles que são destinados à propulsão de barcos, além de máquinas de utilização naval.

## Combustíveis alternativos

Considerando as intensas mudanças climáticas que vêm ocorrendo com maior frequência nas últimas décadas, há uma chamada global por medidas que possam atuar em prol do bem-estar da população, das gerações futuras e da preservação e conservação do meio ambiente. De acordo com últimos dados do Instituto de Energia e Meio Ambiente (2020), a maior parcela de emissão de gás carbônico na atmosfera tem como fonte geradora os derivados do petróleo. Desse modo, o setor automotivo – transportes – de modo geral, emitiram cerca de 197Mt de CO<sub>2</sub> apenas no ano de 2019, seguido das indústrias e do setor de geração de energia elétrica, com 159Mt e 53Mt, respectivamente.

Dentre os gases que são emitidos pelos combustíveis veiculares de origem fóssil, além do dióxido de carbono, têm-se também: monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, óxidos de enxofre e o material particulado. Esses materiais emitem gases que, em determinadas quantidades, podem causar imensuráveis impactos ambientais e danos à qualidade de vida e saúde pública.

É cabível mencionar que, em uma reação estequiométrica ideal, a formação de óxidos de nitrogênio não deveria acontecer. Todavia, há formação desses produtos devido às elevadas temperaturas dentro de uma câmara de combustão,

fazendo com que o nitrogênio, submetido a temperaturas acima de 1600°C, reaja com a mistura, segundo a Bosch (2005).

Cabe discorrer também que a formação de óxidos de enxofre só é existente devido ao combustível ser de origem fóssil. Ao considerar o ponto de vista do mecânico, o enxofre atua como um excelente lubrificante, de modo a proporcionar um melhor funcionamento dos componentes móveis do motor, de acordo com o Grupo Sá (2016). Contudo, ao reagir na mistura entre ar e combustível na câmara, originando os óxidos de nitrogênio, passa a causar impactos, como por exemplo, a acidez das chuvas e a redução da camada de ozônio, em concordância com Silva *et al.* (2013).

Nesse sentido, vem a busca por modelos de combustíveis alternativos aos de origem fóssil. Esses biocombustíveis surgem na proposta de causarem um menor impacto de diversas esferas, além de diminuir a dependência aos destilados do petróleo. Os biocombustíveis têm sua origem renovável e limpa. Renovável, pois sua produção é de origem vegetal, animal ou residual, ou seja, de uma matéria-prima que pode se renovar em curto período de tempo.

## Biodiesel

O biodiesel está cada vez mais apresentando um papel estratégico para muitos países, de modo a proporcionar o desenvolvimento de renda, oportunidades e geração de trabalho, além de contribuir do ponto de vista ambiental, diminuindo as emissões dos gases intensificadores de efeito estufa e os materiais particulados.

De acordo com a Statista (2019), o Brasil ocupava a segunda posição no ranking mundial dos maiores produtores de biodiesel, chegando em 5,4 bilhões de litros no ano de 2018. Perdía apenas para os Estados Unidos, que, no mesmo ano, produziu cerca de 6,9 bilhões de litros de biodiesel.

Todavia, os dados mais atualizados da Statista (2021) apontam que tanto o Brasil e os Estados Unidos acabaram perdendo a sua então posição. Atualmente, a Indonésia ocupa a primeira posição do ranking mundial dos maiores produtores de biodiesel, com um total de 7,9 bilhões de litros produzidos no ano de 2019. Já os Estados Unidos passaram a ocupar a segunda posição, com 6,5 bilhões de litros. O Brasil foi para a terceira colocação, com 5,9 bilhões de litros de biodiesel também no mesmo ano.

Biodiesel é um combustível renovável que pode ser produzido através de óleo vegetal, gordura animal ou óleo residual, por intermédio de reações químicas. As reações que podem originar um biodiesel são: transesterificação, esterificação e hidroesterificação, além do processo químico de craqueamento térmico. Dentre esses, a reação de transesterificação é a mais utilizada para a produção de biodiesel.

Costa *et al.* (2020), respaldados pela Lei nº 11.097/2005, define o biodiesel como sendo “qualquer combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores do ciclo Diesel”. A natureza renovável, conforme salienta esta definição, é proveniente da utilização da biomassa como matéria prima. A ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - traz uma definição mais concisa para os Biocombustíveis, qual seja: “combustível composto por uma mistura de ésteres de ácidos graxos”.

A reação de transesterificação, usada para se obter um biodiesel, consiste em, basicamente, transformar um éster na presença de álcool e um catalisador objetivando-se obter outro éster e outro álcool. Atualmente, é o principal método para a produção de biodiesel comercialmente.

No Brasil, a oleaginosa mais comumente utilizada para a produção de biodiesel é a soja. Além de ser uma matéria-prima de fácil cultivo no território brasileiro, o fato de ser a oleaginosa mais usada como base para a produção de biodiesel se deve também ao fato de o país ser o maior produtor deste cereal, conforme os dados da safra de 2020/21 da Embrapa (2021). Entretanto, há outras opções de oleaginosas que também são utilizadas em menor proporção, se comparada com a soja, a depender da região do país.

O Mapa da Embrapa (2021) menciona que para a região nordeste, por exemplo, tem oleaginosas com potencial destaque para o desenvolvimento de uma cadeia produtiva de óleos além da soja, para diversas utilizações, incluindo o biodiesel, que são: babaçu, mamona, dendê, algodão, coco, gordura animal e o próprio óleo de peixe. Cabe salientar que são estes elementos são mencionadas devidos às condições clima-solo oferecidas para o desenvolvimento dessas opções.

O biodiesel, no Brasil, é utilizado em associação aos combustíveis fósseis. Sendo uma das opções de mais uso no país, como alternativa ao uso exclusivo dos subprodutos do petróleo. Além de não ser necessária qualquer modificação no motor do veículo que irá receber essa mistura. Atualmente, de acordo com a CNN Brasil (2021), a mistura de biodiesel e diesel, nos veículos do Brasil, corresponde a 10%, ou conhecido também como B10. Isso quer dizer que, para cada 1L de com-

bustível, 900 mL corresponde ao diesel misturado a 100 mL de biodiesel.

Apesar de trazer vários benefícios do ponto de vista ambiental e socioeconômico, o biodiesel puro, B100, pelo menos no Brasil, ainda não é utilizado. Isso quer dizer que, segundo a Embrapa (2021), o uso de um biodiesel sem a mistura com o diesel ainda é um desafio, pois pode trazer danos à mecânica do veículo, de modo a danificar bicos injetores com a formação de depósitos, associados ao fato de que o biodiesel B100 apresenta uma queima incompleta devido à sua alta viscosidade e a baixa volatilidade.

## Óleo Vegetal Hidrogenado - HVO

O Óleo Vegetal Hidrogenado (HVO - *Hydrotreated Vegetable Oil*), conhecido também como Diesel Verde ou Diesel do Futuro ou até mesmo Diesel Renovável, corresponde a um óleo vegetal hidrotratado com características similares ao Diesel de origem fóssil. Segundo Lima *et al.* (2021), esse óleo é constituído por carbono e hidrogênio e se trata do resultado da hidrogenação catalítica de óleos vegetais ou de gorduras animais.

A reação de hidrogenação consiste em um processo em que ocorre a adição do gás hidrogênio a um óleo, na presença de um catalisador, gerando a formação de uma mistura composta por hidrocarbonetos parafínicos. Os óleos mais comumente utilizados são os instaurados, como por exemplo os alcenos, alcinos, dienos e aromáticos, segundo Pinho e Suarez (2013). A reação ocorre em condições controladas de tempe-

ratura e pressão, a fim de se obter o óleo com características semelhantes ao diesel.

Dentre as espécies vegetais mais utilizadas para a produção de combustível HVO, Oliveira (2019) menciona algumas, a seguir: dendê, macaúba, babaçu, tucum, coco, juriti, castanhas, girassol, algodão, linhaça, gergelim, soja, canola e amendoim.

A Neste Corporation (2016) acrescenta ainda que os combustíveis produzidos a partir da hidrogenação dos óleos vegetais e das gorduras animais podem ser utilizados tanto da forma pura (100%) ou adicionada a outros tipos de combustíveis fósseis. Para a empresa, as seguintes características são propriedades desses óleos combustíveis: baixo teor de compostos sulfurados, baixa quantidade de compostos aromáticos, alta resistência à oxidação e alto número de cetano.

Além de apresentar as características de um combustível renovável e sustentável, o OHV pode também ter o desempenho equivalente ou superior ao combustível diesel, além de ser compatível com a mecânica dos motores ciclo diesel, sendo dispensável qualquer adaptação no veículo para o recebimento do HVO, considerando suas semelhanças ao combustível fóssil, afirma Lima *et al.* (2021). A Neste Corporation (2016) acrescenta também que a ausência da necessidade de adaptação do motor se deve ao fato das idênticas cadeias carbônicas que o óleo vegetal hidrogenado apresenta em relação ao diesel.

O HVO pode ser utilizado para aumentar a estabilidade do biodiesel sem alterar as propriedades do óleo, de acordo com Pinho & Suarez (2013). Segundo Samúdio (2018), os HVO possuem um menor intervalo de ignição e provocam uma me-

nor pressão de pico nos pistões, quando comparados com o diesel convencional, o que evita o consumo de combustível na ignição e contribui para um menor desgaste no motor.

Contudo, diante dos aspectos positivos, é possível notar que autores da Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos salientam que mesmo diante de um produto renovável, o processo de produção que envolve o diesel verde faz uso de insumos de origem fóssil, que é o caso do gás hidrogênio, obtido através do gás natural.

Oliveira (2021) acrescenta também que o HVO enfrenta obstáculos para a sua produção devido ao fato que sua utilização pode ocasionar no aumento do consumo do combustível dos veículos, uma vez comparado com combustíveis de origem fóssil.

A ANP (2020) alerta que mesmo um potencial biocombustível limpo pode trazer alguns impactos para a mecânica do veículo. Isso quer dizer que a utilização do HVO pode acarretar um número maior de manutenções que o veículo será submetido, além também de trazer possíveis danos ao sistema de injeção eletrônica.

Todavia, o HVO no Brasil ainda não é autorizado para comercialização automotiva pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Trata-se de um biocombustível de grande potencial e que na Europa, Ásia e América do Norte já é uma realidade, segundo Silveira (2022).

## Biometano

O biometano, segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2020), se trata de um tipo de

biocombustível gasoso, que pode ser obtido através do processamento do biogás, também chamado de purificação do biogás. De acordo com a Engie (2021), o processo de purificação do biogás envolve a retirada da umidade, dióxido de carbono e o sulfeto de hidrogênio, obtendo-se como resultado um gás de elevado poder de combustão, semelhante ao gás natural, e rico em metano.

Segundo o Programa RenovaBio, os setores econômicos que apresentam o maior potencial para a produção de biometano no Brasil correspondem aos: sucroenergético, indústria alimentícia/produção de alimentos e a de saneamento.

Assim como o biogás, o biometano apresenta como matéria-prima resíduos orgânicos, de modo geral, com exceção de resíduos provenientes de aterros sanitários e estações de tratamento de esgotos, que podem conter outros tipos de resíduos, incluindo os não orgânicos.

Dessa maneira, em concordância com Silva (2017), a composição final do biometano produzido a partir da purificação do biogás será resultado do tipo de matéria-prima, ou a biomassa, utilizada no início do processo, justamente na etapa que corresponde à digestão anaeróbica.

Todavia, na produção do biometano com a sua origem vinda de aterros sanitários ou de esgoto, de acordo com os parâmetros técnicos da ANP relacionados à temática, é vetada a utilização desse gás visando a utilização veicular, embora possa ser adotado como fonte de geração de energia.

Para se utilizar o biometano com aplicação veicular no Brasil, é necessário que este seja regulamentado pelas especificações estabelecidas na resolução nº 8/2015 da ANP, que trata da utilização do gás biometano proveniente de produtos

e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais voltados para o uso veicular e instalações residenciais e comerciais.

Na prática, já existe a comercialização de veículos de grande porte fazendo uso do biometano como fonte de geração de energia. É o caso, por exemplo, do SCANIA R410, que apesar de apresentar desempenho e torque bem parecidos com modelos movidos a Diesel, permitem a utilização também do gás natural tanto liquefeito como comprimido, mantendo a operação suave (SCANIA, 2020).

O Portal Bioenergia (2019) acrescenta ainda que a utilização do biometano em frotas compostas por veículos pesados contribuiria tanto do ponto de vista ambiental como econômico, de modo que, através da utilização desse combustível, seria possível diminuir em até 85% as emissões de gases de efeito estufa, quando comparado com o Diesel, e ainda seria capaz de suprir cerca de 44% da demanda do país.

Há vários estudos que analisam os impactos ambientais do biometano, quando utilizados em veículos. Lyng e Brekke (2019) apontam que, em estudo realizado com o intuito de avaliar o biometano, de origem orgânica alimentícia em ônibus, foi possível observar que o gás causava menores impactos ambientais, quando comparados com o Diesel. Além disso, Natividad Pérez-Camacho *et al.* (2019) também evidenciaram que o biometano é capaz de reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Contudo, um dos maiores desafios em se utilizar o biometano como opção alternativa ao Diesel está relacionado aos seus custos de produção. Isso acontece porque, segundo a Engie (2021), envolve investimentos adicionais para adoção da tecnologia para a realização da purificação, a odorização e

o transporte, além também da distribuição do gás biometano. Assim, a sua utilização é recomendada apenas em larga escala, para compensar os custos operacionais. Além disso, há de se considerar que apenas resíduos orgânicos podem ser utilizados para a produção de biometano com uso veicular. Os demais resíduos (não orgânicos e provenientes de aterros e esgotos) são proibidos pela ANP.

## Biogás

A Resolução Normativa nº 8 de 2015 da ANP conceitua o biogás como sendo um “gás bruto obtido da decomposição biológica de produtos ou resíduos orgânicos”. Trata-se de uma mistura constituída de metano, dióxido de carbono e porções menores de nitrogênio, hidrogênio, oxigênio e gás sulfídrico. Zenatti (2019) complementa que o biogás é o resultado da decomposição da matéria orgânica através do processo anaeróbico. Ou seja, corresponde a um processo de decomposição que ocorre através de bactérias sem que haja a presença de oxigênio.

De acordo com Panorama dos Resíduos Sólidos (PRS) no Brasil, nos anos de 2018 e 2019, foi possível evidenciar que apenas 51% dos resíduos sólidos urbanos foram produzidos no país, o que correspondem a cerca de 36,5 milhões de toneladas de matéria de origem orgânica. Infelizmente, somente 1% do que é descartado passa pelo processo de reaproveitamento, obtendo-se novas utilizações através da produção de adubo, gás combustível e até mesmo energia.

A produção do biogás para uso veicular está ligada diretamente com a gestão de resíduos orgânicos de um país. Uma

vez que a ANP estabelece que apenas resíduos orgânicos podem ser utilizados para tais fins, pode-se dizer que o estímulo da produção de biogás pode proporcionar na diminuição de resíduos orgânicos descartados e não reutilizados.

Nesse sentido, o biogás se trata de um tipo de biocombustível alternativo, limpo, renovável e inesgotável, que pode ser desenvolvido por intermédio de resíduos agroindustriais, de saneamento e até urbanos, de acordo com o Portal do ABC (2020). Trata-se de um resultado obtido através da decomposição anaeróbica – isso quer dizer que, em outras palavras, por meio de reações químicas sem que haja a presença do oxigênio – dos possíveis resíduos orgânicos seguintes: dejetos animais (inclusive humanos), bagaços vegetais, palhas, plantas, resíduos agrícolas.

A principal diferença entre o biogás e o gás natural (GN) é que o este não é originado através da circulação da matéria orgânica que se encontra presente na superfície terrestre, de acordo com Zenatti (2019). O gás natural também é oriundo da decomposição anaeróbica da matéria orgânica, entretanto, é encontrado nas camadas mais profundas da crosta terrestre.

Um exemplo de máquina estacionária que faz uso do biogás como forma de obter energia é o gerador ENGGB 420 kVA da ENERMAC. É um de um grupo de 11 geradores a biogás da empresa. Eles representam uma alternativa sustentável de utilização do gás em máquinas que normalmente necessitam de Diesel para a produção de energia.

Embora a utilização do biogás, assim como do biometano, possa estimular uma política de redução de resíduos orgânicos com o intuito de produzir energia, no Brasil, a prática da produção desse gás ainda não é comum devido aos altos

custos de investimento para a logística que está em torno do biogás, além do fato de que a produção do biogás envolve a formação de um produto com elevadas taxas de metano, correspondendo a um potencial poluidor, mesmo que em proporções menores, conforme afirma Reis (2012).

## Bioetanol

Os álcoois, o metanol e o etanol, como combustíveis, representam uma alternativa renovável produzida a partir da biomassa vegetal. As mais comuns para a produção de álcool são a cana-de-açúcar, beterraba, trigo, milho e até a mandioca. No Brasil, o bioetanol, derivado da cana-de-açúcar, tem seus primeiros registros em meados de anos de 1920 (ROYAL FIC, 2021). Hoje em dia, é o maior produtor do combustível renovável.

Segundo os dados da Série Histórica das Safras realizada pela Companhia Nacional de Abastecimento (2021), o Brasil é o número 1 no ranking dos maiores produtores de cana-de-açúcar no mundo. Além disso, também foi responsável pela produção de 29,7 bilhões de litros de etanol no ano de 2021. Estima-se que o volume de produção possa dobrar até a próxima década (BARRETO, 2022).

O etanol é um combustível que pode ter duas origens: a renovável - vindo a biomassa contemporânea - e a de origem fóssil - do petróleo. O etanol oriundo do petróleo é denominado etanol sintético. Já o etanol proveniente da biomassa é chamado de bioetanol.

O bioetanol é um combustível renovável desenvolvido a partir da biomassa vegetal e que apresenta grande potencial

de diminuição e neutralização de gases intensificadores do efeito estufa, além de emitir quantidades menores de partículas nocivas à atmosfera e ao meio ambiente, segundo Masson *et al.* (2015).

Sabe-se que o bioetanol pode ser produzido por intermédio de diferentes rotas tecnológicas, além de poder ser produzido a partir de qualquer tipo de biomassa. No Brasil, a matéria-prima mais utilizada para a produção de bioetanol é a cana-de-açúcar, devido ao fato de a espécie vegetal se adaptar consideravelmente bem às condições de clima e solo apresentadas pelo país, de acordo com Santos (2020).

O etanol sintético e o bioetanol são praticamente indistinguíveis, pois ambos apresentam a mesma fórmula estrutural -  $C_2H_5OH$ . Todavia, sua única diferença pode ser evidenciada, de acordo com Tamers (2006), na composição isotópica dos átomos de carbono. Isso quer dizer que está relacionado com a abundância relativa de seus átomos de carbono, ou seja, considerando que o bioetanol é oriundo da biomassa dos materiais contemporâneos, nele é contida a presença do carbono 14. Entretanto, o etanol sintético, derivado de substâncias fósseis, não tem a presença desse carbono devido ao esgotamento com o passar do tempo.

No Brasil, há a operação do projeto BEST<sup>5</sup> desde 2007. Ele se iniciou com sucesso na Suécia, apresentando mais de 600 exemplares de ônibus movidos a bioetanol, capacitados para operar em motores Diesel, e vem sendo incentivado aqui no

---

5 Projeto BEST – Bio Ethanol Sustainable Transport, ou Etanol para o Transporte Sustentável. Projeto Idealizado pela União Européia e coordenado pela Prefeitura de Estocolmo, o Projeto BEST tem estudos no Brasil liderados pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO).

país com o apoio da União Europeia e por meio de parcerias com empresas como a UNICA para promover a utilização do bioetanol e estimular as práticas de sustentabilidade e promoção, visando a redução de atividades causadoras da intensificação do aquecimento global (UNICA, 2020).

Ainda que seja um biocombustível de elevado potencial sustentável, de modo a diminuir significativamente as emissões de dióxido de carbono, não possuir o enxofre em sua composição, diminuir consideravelmente a emissão de particulados e diminuir a dependência aos combustíveis fósseis, o bioetanol também pode apresentar alguns pontos negativos. Segundo a Cobli (2020), alguns dos obstáculos enfrentados para a produção desse combustível alternativo é a promoção de desmatamento de áreas para o plantio das espécies vegetais, que poderiam ser utilizadas para a produção de alimentos para a população.

Pode-se mencionar também que, conforme afirma Fragmaq (2015), ao utilizar o bioetanol, é necessário que o veículo a receber esse combustível seja submetido a adaptações no motor para a geração de energia. Isso implica dizer que a utilização desse combustível em veículos que não são adaptados para recebê-los é proibida. Além disso, em regiões que apresentam o clima frio, o bioetanol pode ter seu poder de combustão reduzido devido à temperatura local (COBLI, 2020).

## Hidrogênio

A produção de combustível através do hidrogênio verde tem a descarbonização do planeta como objetivo principal, porém, mesmo sendo uma das alternativas de combustíveis

limpos, ainda deverá encontrar desafios para o segmento a nível nacional. Segundo Araújo, Oliveira, Barros, Marques e Alves (2021), desde a revolução industrial, a humanidade encontra-se em um cenário de extrema dependência dos combustíveis fósseis, particularidade que faz com que o planeta terra esteja cada vez mais próximo de colapsar, principalmente em razão da alta produção e emissão de gases poluentes na atmosfera.

Os múltiplos problemas ambientais que afetam atualmente o nosso planeta vem agravando cada vez mais o modo de vida da sociedade moderna, bem como provocam constantes alterações climatológicas, tais quais aquelas associadas ao aquecimento global. Neste contexto, “o hidrogênio surge como um vetor energético que apresenta propriedades que o coloca como o combustível do futuro, numa possível substituição dos combustíveis fósseis” (ALMEIDA *et al.*, 2019). Um dos principais vilões correlacionados ao aumento das temperaturas é a utilização ainda maciça dos combustíveis de origem fóssil, com especial destaque para os combustíveis derivados de petróleo.

Neste contexto, deve-se pensar em alternativas energéticas para substituição destes últimos, tal como o gás hidrogênio, que pode ser classificado como uma fonte de energia limpa e renovável e, por conseguinte, com baixa toxicidade para o meio ambiente.

Sobre as características do gás hidrogênio, pode-se fazer alusão à sua boa reatividade e baixa densidade específica (comparativamente ao carbono, por exemplo), proporcionando uma alta quantidade de energia por unidade de peso (ARAÚJO; OLIVEIRA; BARROS; MARQUES; ALVES, 2021).

Algumas das aplicações atuais para o gás hidrogênio, em maior ou menor escala comercial, são a utilização em processos industriais de fábricas, como por exemplo na fabricação de plástico, transporte humano (deslocamento de veículos), combustível para foguetes e outros usos no ramo aeroespacial.

O hidrogênio verde como combustível objetiva, dentre outros aspectos, a descarbonização do planeta. Mesmo figurando entre as boas alternativas de combustíveis limpos, atualmente ele ainda encontra desafios para sua utilização em nível nacional. A EPE - Empresa de Pesquisa Energética defende que, através de políticas públicas específicas, pode-se estimular a massificação do uso do hidrogênio com vistas a descarbonização de múltiplas áreas, tais quais os setores de transportes e a indústria, já citados anteriormente.

Ainda de acordo com EPE (2021), no setor de transporte, vislumbra-se como perspectiva tecnológica, a aplicação de células a combustível para a produção de hidrogênio a partir de biocombustíveis e gás, sendo estes últimos, a título de exemplo, o gás natural e metano. O hidrogênio verde é obtido através de um processo químico chamado eletrólise. A obtenção do hidrogênio por eletrólise ocorre a partir de fontes renováveis, consistindo na decomposição das moléculas de água (H<sub>2</sub>O) em moléculas de oxigênio (O<sub>2</sub>) e hidrogênio (H<sub>2</sub>).

O processo de abastecimento de uma estação de hidrogênio é equivalente ao de um posto de gasolina convencional, embora o hidrogênio seja fornecido em alta pressão (IBERDROLA,2022). As estações de abastecimento de hidrogênio ainda não foram implementadas no Brasil e, de acordo com

Sinigaglia (2018), a maior concentração de estações de hidrogênio ainda estão no Japão e na Coreia do Sul.

Devido à sua elevada temperatura de autoignição, o hidrogênio não pode ser utilizado como combustível puro em motores de ciclo diesel (SINIGAGLIA, 2018). Porém, é possível fazer a utilização do hidrogênio em motores ciclo a diesel através de uma mistura com outros combustíveis.

## GNV – Gás Natural Veicular

No Brasil, o primeiro registro de ônibus movido a GNV e biometano ocorreu em 2020, no estado da Bahia, de acordo com a Bahiagás (2020). Esse transporte coletivo surgiu da associação da Companhia de Gás (Bahiagás) com a Scania<sup>6</sup>, visando estimular a adoção de veículos sustentáveis e a diminuição dos impactos ambientais. Além de diminuir a emissão de gases de efeito estufa, a gestão de resíduos orgânicos para a produção do biometano também passou a ser estimulada.

Pode-se considerar como sendo poluente do ar aquela substância que, em concentrações anormais, ao misturar-se com o ar atmosférico, faz com que este último se torne impróprio, nocivo ou potencialmente ofensivo aos seres humanos, à fauna e/ou à flora (MACHADO, 2006). As emissões provenientes do uso de máquinas, equipamentos ou veículos que se enquadrem como poluentes devem ser mitigadas, sob pena de minimizar ou mesmo inviabilizar o uso dos espaços privados ou públicos. Alguns problemas que podem ser creditados ao excesso de poluição atmosférica são:

---

6 Empresa de fabricação de veículos pesados.

- a) Redução das condições de visibilidade dos motoristas e pedestres;
- b) Prejuízos ao sistema respiratório (irritações, tosse, alergias, dentre inúmeras outras doenças);
- c) Agravamento de doenças cardíacas;
- d) Aumento dos gastos públicos associados à saúde da população em razão da necessidade de tratamentos, internações e prescrição de medicamentos;
- e) Alteração das condições meteorológicas, influenciando no regime de chuvas das localidades muito poluídas, por exemplo.

Esta contextualização inicial nos permite compreender a relevância da proposição de ações concretas destinadas a mitigar os problemas relativos aos poluentes atmosféricos supramencionados, tal qual a utilização de combustíveis gasosos, neste caso o Gás Natural Veicular – GNV, como alternativa a combustíveis como gasolina, álcool e diesel (MACHADO, 2006).

A constituição química do gás natural é caracterizada por uma mistura de gases, a saber: metano, etano, propano, butano, pentano e hexano, dentre outros. Ele pode ser usado na recuperação secundária de poços de petróleo, na indústria química, petroquímica e de fertilizantes, também sendo utilizado como combustível veicular (veículos pesados e veículos leves) e em empilhadeiras industriais. Segundo Machado (2006),

trata-se de um gás não tóxico e não irritante, dissipando-se rapidamente quando em contato com a atmosfera.

A participação do gás natural da matriz energética nacional vem crescendo consideravelmente nos últimos anos, com metas bastante ambiciosas referentes a sua utilização em larga escala. A disposição governamental (incentivos fiscais, por exemplo) poderia ser citada como um agente propulsor desta fonte energética, definindo um marco legal que permitisse definir melhor as regras de exploração, transporte e utilização desta modalidade de combustível.

O Gás Natural Veicular (GNV) pode ser utilizado tanto da forma gasosa como líquida, sendo chamados de Gás Natural Liquefeito (GNL), quando se apresenta no estado líquido, e Gás Natural Comprimido (GNC) quando está no estado gasoso.

A utilização de gás natural comprimido como alternativa energética aos combustíveis utilizados em veículos de transporte de passageiros, como por exemplo os ônibus coletivos movidos a gás natural comprimido, não pode ser entendida como uma novidade, visto que múltiplos trabalhos acadêmicos já discutiram vários aspectos desta problemática. Entretanto, a modernização das técnicas de conversão destes veículos, acompanhadas da redução dos preços finais dos kits de gás natural, tem trazido novas perspectivas, visto que estas particularidades têm melhorado significativamente a viabilidade econômica do uso do gás natural comprimido em aplicações de transporte urbano de passageiros nas grandes metrópoles brasileiras.

As capitais de maior porte, além da alta demanda por transporte de massa, também sofrem com a poluição atmos-

férica associada à emissão de gases provenientes do escape dos veículos. Sob este prisma, eventuais medidas que visem reduzir estas emissões nocivas são muito bem-vindas. Neste contexto, a substituição dos combustíveis fósseis por gás natural comprimido (GNC) também teria sua parcela de contribuição para melhoria ambiental dos grandes centros urbanos.

O transporte através de veículos movidos a óleo diesel, como é o caso da grande maioria dos ônibus, tem especial contribuição no que tange a emissões de óxidos de nitrogênio e óxidos de enxofre, principalmente (MACHADO, 2006). Apesar dos programas nacionais de controle da poluição por veículos automotores, os índices de emissões ainda estão longe de patamares razoáveis (aspecto que evidencia a relevância pela utilização de outras soluções energéticas). Conforme menciona Machado (2006), o gás natural é um combustível mais limpo do que o óleo diesel no que se refere à análise comparativa dos poluentes.

No que refere aos aspectos não técnicos, a utilização do gás em ônibus coletivos poderia influenciar nos valores de tarifas cobradas dos usuários, além de ser utilizada com um viés político, por exemplo, associando a veiculação da gestão pública como ambientalmente responsável (MACHADO, 2006).

O gás natural liquefeito, ou simplesmente GNL, tem como característica a alteração do estado físico, gasoso para líquido por abaixamento da sua temperatura ao patamar de  $162^{\circ}\text{C}$  negativos, objetivando incremento da massa específica e almejando transportes de vultosas massas em navios metaneiros (CORDEIRO, 2017).

Speirs *et al.* (2020) retratam a redução das emissões de gases de efeito estufa nos veículos movidos a gás natural comprimido ou liquefeito em comparação ao diesel. Contudo, devido à menor eficiência dos motores a gás em comparação aos motores diesel, os constantes vazamentos de metano e ao fato de ser o gás natural um combustível fóssil, alguns autores relatam limitações nas reduções dos GEE. Arteconi *et al.* (2010), ao analisarem o estudo das emissões dos gases de efeito estufa, concluíram que durante a produção de GNL em pequena escala, as emissões são equivalentes às produzidas por motores a diesel.

Ao comparar o GNL e o combustível Diesel quando utilizados em veículos automotivos, segundo Gustafsson & Svensson (2021), é possível observar uma considerável redução nas emissões de gases de efeito estufa e materiais particulados. Contudo, Cooper *et al.* (2019) concluíram em seu trabalho que caso as emissões de metano, componente do gás natural, excedessem 1,5 – 3,5% durante sua queima, a redução do impacto nas mudanças climáticas com o gás natural seria anulada.

## Veículos híbridos

Segundo a Bosch (2005), os veículos com motores híbridos correspondem a aqueles que compartilham tanto características de motores Diesel, como também de motores onde a ignição ocorre através da centelha (motores Otto). Já atualmente, esse conceito foi aprimorado visando a diminuição da dependência dos combustíveis de origem fóssil. Hoje, a Bosch conceitua um veículo híbrido, correspondendo a aquele que é alimentado por dois tipos de motores: MCI (Motor de Com-

bustão Interna - Diesel/Gasolina/Álcool) e elétrico. O Instituto Nacional da Propriedade Industrial (2018) também conceitua os veículos híbridos como sendo os que fazem uso de duas fontes de potências diferentes, objetivando a produção de energia e movimento.

Em 2 perspectivas, pode-se dizer que o proprietário de um veículo híbrido no Brasil vive um verdadeiro dilema. De um lado, há a convencionalidade, isto é, a autonomia e facilidade de abastecimento de veículo movidos à combustão. Por outro, há a inovação do carro elétrico, acompanhada das limitações de redes de abastecimento e tempo de recarga das baterias.

Um motor híbrido pode funcionar de 2 maneiras, segundo a Bosch (2022): individualmente ou de maneira conjunta. O funcionamento individual do motor híbrido significa dizer que pode ser operado no modo elétrico ou no modo MCI. Já o modo conjunto faz referência à associação dos dois motores, atuando de maneira inteligente.

Motores híbridos podem proporcionar alguns privilégios a seu condutor. De acordo com a Mapfre (2022), lugares como Madri, por exemplo, oferecem o tráfego de veículos híbridos através das faixas que são exclusivas aos ônibus, além de proporcionar vantagens normativas, ou seja, determinados benefícios considerando o viés ambiental.

O uso do motor elétrico disponibilizado nesses veículos permite uma economia de combustível, maior eficiência, menor ruído e menor dependência do uso de combustíveis fósseis, segundo Costa *et al.* (2018). Os autores também afirmam que a busca pela redução de emissões sem sacrificar o conforto, a qualidade e a manutenção do veículo se tratam de

um desafio que a tecnologia híbrida vem enfrentando para se manter na indústria automotiva.

Uma grande vantagem de fazer uso do motor elétrico é que nele as emissões de GEE e partículas poluentes são nulas. Ou seja, não existe a contaminação atmosférica pelas emissões veiculares. Por sua vez, na utilização de motores de combustão interna, caso o combustível utilizado seja o de origem fóssil, como a gasolina ou o diesel, as emissões continuarão existindo, principalmente de CO<sub>2</sub> e MP.

Veículos híbridos já são existentes no Brasil. Todavia, não representam a realidade da maioria da população brasileira, devido aos elevados custos envolvidos para adquirir essa tecnologia. Ou seja, os veículos comercializados no país, além de possuírem preços elevadíssimos, contam também com uma manutenção bem específica e limitadas redes de recargas de baterias. Por exemplo, Costa *et al.* (2018) mencionam que o primeiro veículo híbrido no Brasil, um Mercedes-Benz S400, foi comercializado inicialmente por R\$426.000,00. Em seguida veio o Toyota Prius, cujo valor girava em torno de R\$100.000,00.

Sob uma perspectiva ambiental, de certo modo, motores híbridos, em parte, podem até contribuir para a diminuição de emissões de GEE e MP. Todavia, há um estímulo da exploração de matéria-prima mineral, os recursos minerais, existentes na natureza para o desenvolvimento de baterias, segundo a Mapfre (2022). Para essa questão, cabe a reflexão seguinte: há disponibilidade de recursos minerais suficientes para desenvolver esse modelo de motor elétrico, caso se popularize? E quando ocorrer a necessidade de descarte? Até onde a utilização desse tipo de veículo é vantajosa?

## Vantagens e desvantagens dos biocombustíveis

Como todo combustível, renovável ou não, de origem fóssil ou não, sempre há os benefícios e as desvantagens da utilização de cada um. Cabe ao usuário saber mensurar o que é de mais valia e mais vantajoso, tanto do ponto de vista ambiental, como também o custo-benefício que cada tipo de combustível alternativo pode trazer. Isso quer dizer que, por exemplo, o fato de um determinado combustível ser renovável, não significa que não traz impactos ambientais ou então não seria tão vantajoso em diversos aspectos a serem considerados pelo usuário do veículo.

Diante do exposto, foi possível listar as vantagens e as desvantagens, previstas na Tabela 2, de modo mais simplificado, dos combustíveis alternativos encontrados que podem ser utilizados em substituição ao uso do diesel, de origem fóssil não renovável, sendo estes:

**Tabela 2** – Diferenciações quanto aos benefícios e obstáculos da utilização das principais formas de combustível alternativo aplicado como possíveis substitutos ao uso exclusivo do diesel.

<b>Tipo de biocombustível</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Biodiesel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produzido com matéria-prima renovável;</li> <li>• Baixo teor de emissões de GEE e MP;</li> <li>• Baixo custo de produção;</li> <li>• Geração de emprego;</li> <li>• Pode aumentar a vida útil do motor;</li> <li>• Baixo risco de explosão;</li> <li>• Fácil armazenamento e transporte;</li> <li>• Ausência de enxofre (B100);</li> <li>• Sem necessidade de adaptação do motor;</li> <li>• Pode ser misturado ao diesel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilidade de desmatamento de áreas;</li> <li>• Uso proibido em veículos de passeio;</li> <li>• Maior possibilidade de manutenção e troca de peças do motor;</li> <li>• Baixa volatilidade e alta viscosidade;</li> <li>• Grande quantidade de glicerina durante a produção;</li> <li>• Possibilidade de cristalização do óleo em baixas temperaturas.</li> </ul>
Óleo vegetal hidrogenado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande similaridade ao petróleo (diesel);</li> <li>• Não são necessárias adaptações nos motores;</li> <li>• Baixo custo;</li> <li>• Não é inflamável;</li> <li>• Biodegradável;</li> <li>• Sustentável;</li> <li>• Pode substituir o diesel e o querosene de aviação;</li> <li>• Pode ser utilizado para aumentar a estabilidade do biodiesel sem alterar as propriedades do óleo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pouca lubrificidade;</li> <li>• Não é utilizado no Brasil;</li> <li>• Utiliza insumos de origem fóssil;</li> <li>• Aumento do consumo do combustível;</li> <li>• Custos com manutenção do motor;</li> <li>• Danos no sistema de injeção do veículo.</li> </ul>

<p style="text-align: center;">Biometano</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produto do processo de purificação do biogás;</li> <li>• Elevado poder de combustão;</li> <li>• Estimula a redução de resíduos orgânicos;</li> <li>• Pode ser usado como equivalente a GNV;</li> <li>• Possível obtenção através de rotas alternativas;</li> <li>• Redução de emissão das GEE comparadas com o diesel;</li> <li>• Possível alternativa de substituição do uso de lenha, gás de uso industrial, comercial e do óleo diesel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É proibido o uso veicular do biometano de origem de aterros sanitários ou esgotos;</li> <li>• Emissão de gás carbônico;</li> <li>• Custos com transporte, odorização, purificação e distribuição;</li> <li>• Recomendado para uso em grande escala;</li> <li>• Dificuldade de armazenamento;</li> <li>• Elevado custo de produção no Brasil.</li> </ul>
<p style="text-align: center;">Biogás</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonte renovável e inesgotável (lixo e resíduos de matéria orgânica);</li> <li>• Baixo custo;</li> <li>• Alto poder energético;</li> <li>• Promoção da redução de resíduos e doenças;</li> <li>• Possível alternativa de substituição do uso de lenha, gás de uso industrial, comercial e do óleo diesel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevados teores de metano e gás carbônico;</li> <li>• Pode intensificar o efeito estufa;</li> <li>• Processo de produção nocivo;</li> <li>• Subaproveitamento dos gases.</li> </ul>

Bioetanol	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origem renovável (cana de açúcar; milho, mandioca, batata, por exemplo);</li> <li>• Menor emissão de gases poluentes;</li> <li>• Gera renda e emprego;</li> <li>• Menor custo de produção;</li> <li>• Solúvel em água;</li> <li>• Fácil processo de produção;</li> <li>• A produção envolve a geração de substratos que podem produzir vapor e gerar energia térmica, mecânica ou elétrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sua utilização limita-se em veículos flex;</li> <li>• Pode prejudicar motores não adaptados;</li> <li>• O custo de venda para o consumidor pode oscilar;</li> <li>• Tem as propriedades alteradas com a variação de temperatura (baixas);</li> <li>• Pode promover o desmatamento.</li> </ul>
Hidrogênio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não há a emissão de poluentes ambientais (gases de emissão e material particulado);</li> <li>• Facilidade e agilidade de reabastecimento;</li> <li>• Autonomia;</li> <li>• Atóxico;</li> <li>• Pode gerar energia;</li> <li>• Elevada densidade energética.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escassez de estações de abastecimento;</li> <li>• Difícil armazenamento;</li> <li>• Inflamável;</li> <li>• Alto custo;</li> <li>• Custos de transporte e distribuição;</li> <li>• Reativo.</li> </ul>

GNV	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Econômico;</li> <li>• Baixa emissão de gases poluentes na atmosfera;</li> <li>• Autonomia;</li> <li>• Maior eficiência;</li> <li>• Menor consumo;</li> <li>• Não acumula resíduos no sistema de injeção do veículo;</li> <li>• Maior durabilidade do óleo lubrificante presente no motor;</li> <li>• Elevação da durabilidade da vida útil do escapamento;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sujeito a oscilações de preço e abastecimento;</li> <li>• Risco de explosões e incêndios (falhas de armazenamento e manutenção);</li> <li>• Perda de potência do veículo;</li> <li>• Redução de espaço no veículo;</li> <li>• Perda de garantia de veículo 0Km caso seja instalado o GNV;</li> <li>• Elevado custo de instalação;</li> <li>• Muitas vistorias e burocracias.</li> <li>• Não recomendado em pequena escala;</li> <li>• Desvalorização na revenda do veículo.</li> </ul>
Híbridos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustentáveis;</li> <li>• Baixa emissão de gases poluentes na atmosfera;</li> <li>• Menor emissão de ruídos;</li> <li>• Tráfego através das faixas exclusivas de ônibus;</li> <li>• Incentivos fiscais;</li> <li>• Autonomia;</li> <li>• Condução eficiente e econômica;</li> <li>• Menor dependência de combustíveis fósseis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo;</li> <li>• Escassez de estações de abastecimento;</li> <li>• Maior peso;</li> <li>• Ainda promove a contaminação ambiental mesmo que o propulsor esteja em estado inativo;</li> <li>• Estímulo do uso dos recursos minerais para a produção de baterias;</li> <li>• Baixo desempenho;</li> <li>• Elevado custo de manutenção.</li> </ul>

Fonte: Elaboração do autor, 2022.

É notável perceber na Tabela 2 que todas as formas de combustível alternativo, seja de origem renovável - como é o caso do biometano, bioetanol, biodiesel e até o biogás - e o não renovável - GNV - podem apresentar claras qualidades e desvantagens quanto à sua utilização. Contudo, alguns podem se destacar em apresentar mais vantagens favorecendo a sua utilização, como é o caso, por exemplo, do biodiesel.

Ao adotar determinado biocombustível, é importante levar em consideração todas as variáveis envolvidas, sejam elas ambientais, econômicas, sociais e políticas, de modo a ponderar as vantagens e desvantagens que o produto final possa oferecer. A partir de uma visão crítica e realista, é possível aplicar o que melhor condiz com a situação a ser empregada. Além disso, é importante considerar a realidade local para o desenvolvimento do combustível sustentável.

## Panorama geral dos biocombustíveis no Brasil

A massificação da utilização do biodiesel passa pela necessidade de instituir medidas contínuas de estímulo a esta modalidade de combustíveis. No contexto brasileiro, no que se refere às políticas públicas governamentais de incentivo aos biocombustíveis, uma menção de destaque deve ser dada ao Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel – PNPB - e às Leis nº 11.097/2005, 3.263/2016 e 11.097/2005. Cada uma delas, dentro de seu escopo e marco temporal, impulsionou o fomento aos combustíveis não fósseis em aplicações relacionadas a motores de ciclo diesel.

Costa *et al.* (2020) descrevem que “o PNPB teve como objetivo a implementação de forma sustentável, tanto técnica como economicamente, da produção e uso do biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda”. Um dos aspectos mais lembrados do PNPB foi a institucionalização do SCS – Selo Combustível Social.

As leis mencionadas versam, dentre outros aspectos, acerca dos condicionantes técnicos e econômicos associados à oficialização da mistura do biodiesel ao diesel convencional de origem fóssil, em teores que, sendo revisados periodicamente, chegaram, em 2020, a patamares de 12% em volume. Explicitam ainda a necessidade de regulamentação destas misturas, definindo condicionantes de aprovação de tais combustíveis a partir de testes em motores, sob pena de cometimento de infração legal caso ocorra perda perceptível de qualidade. As tendências futuras são de misturas atingindo 15%, em 2023 (COSTA *et al.*, 2020).

Modernamente, sob o prisma técnico, os estímulos estão focados em solidificar o marco regulatório do setor, tornando sua base normativa mais plural, permitindo maior flexibilidade de adaptabilidade aos arranjos produtivos e especificidades de comercialização de cada região brasileira, aspecto que melhoraria sensivelmente o potencial de competitividade de mercado.

Os biocombustíveis são derivados de biomassa renovável que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores à combustão ou em outros tipos de geração de energia (REIS *et al.*, 2022). Diante desse cenário, o Brasil tem se preocupado por meios de

políticas públicas, no incentivo para utilização de biocombustíveis. Desta forma, a agenda regulatória para os mercados de combustíveis precisa integrar as questões de adequação que decorrem da descarbonização, bem como considerar a necessidade de segurança do abastecimento, o que aponta para a diversificação gradativa do quadro de fontes mais limpas (DELGADO; QUEIROZ; COLOMER, 2021).

## Considerações finais

Diante da pesquisa realizada acerca dos combustíveis alternativos que podem ser aplicados em substituição ao Diesel, notou-se que há pelo menos oito maneiras de substituir o uso desse combustível de origem fóssil, quais sejam: biodiesel, óleo vegetal hidrogenado, biometano, biogás, bioetanol, hidrogênio, GNV e os veículos híbridos.

No Brasil, observou-se que dentre os encontrados como opção de combustível alternativo ao Diesel, o que tem mais se aplicado à realidade brasileira são o biodiesel e o bioetanol. Isso acontece principalmente devido a fatores como baixo custo de produção e facilidade de desenvolvimento desses tipos de combustíveis no país.

O biodiesel no Brasil, por exemplo, é produzido a partir da soja como sua matéria-prima, em destaque, vale salientar, é a soja. Entretanto, de acordo com o mapa do Embrapa, as oleaginosas e gorduras animais, bases para a produção do biodiesel, podem se alterar de acordo com a região do país.

O bioetanol, por sua vez, é o segundo biocombustível mais utilizado no Brasil e sua principal matéria-prima é a cana de açúcar. Seu processo de produção é exclusivamente

oriundo de matérias renováveis, diferentemente do que acontece com o biodiesel no Brasil – que até o presente momento é usado mistura ao diesel na proporção de 10%. Entretanto é um grande aliado ambiental nas questões de emissão de gases causadores da intensificação do efeito estufa e dos materiais particulados. Vale ressaltar, todavia, seu uso se restringe a veículos flex.

De modo geral, os combustíveis alternativos ao diesel encontrados, tanto renováveis como não renováveis, possuem tanto benefícios ambientais como socioeconômicos. Entretanto, podem apresentar relutância ao uso, justamente devido aos obstáculos que podem apresentar, como os elevados custos que os responsáveis pelos veículos teriam que arcar para a obtenção ou adaptação do motor do veículo para receber esse combustível alternativo.

Cabe principalmente ao responsável do veículo definir o que é melhor em relação ao custo-benefício a ser adquirido. Contudo, estimula-se o uso daquele combustível que cause menor impacto ambiental, visando a preservação e conservação do planeta e das gerações futuras, levando em consideração a realidade e disponibilidade financeira de cada indivíduo que pense em adotar combustíveis alternativos em veículos movidos a Diesel.

## Referências bibliográficas

ALMEIDA, A.S., *et al.* **Hidrogênio, o combustível do futuro.** Diversitas Journal. Santana do Ipanema, p. 356-366. maio 2019.

ANDRADE, J. B.; ROCHA, G. O.; GUARIEIRO, A. L. N.; GUARIEIRO, L. L. N.; RAMOS, L. P. **Química sem fronteiras: o desafio da energia.** 2013. Química Nova, V. 36, nº 10. 1540-1551. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/9tBLbbVfmSD-QyFTfT7KVF3f/?format=pdf&lang=pt>>. Acessado em: 11 de junho de 2022.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - (org.). **Resolução ANP nº 42/2004.** 2004. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=101192>. Acesso em: 03 ago. 2022.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº8, de 30/01/2015,** DOU 2 de fevereiro de 2015. Atas Oficiais. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-8-2015?origin=instituicao&q=8/2015>>. Acessado em: 12 de agosto de 2022.

ARAÚJO, Maria Fernanda Borges; OLIVEIRA, Saulo José Ramos de; BARROS, Gabriel Silva Meneses; MARQUES, Arthur Silvestre Rodrigues; ALVES, Diego Faro. Hidrogênio: combustível do futuro?. **Cadernos de Graduação.** Aracaju, p. 60-69. out. 2021.

ARTECONI, A., BRANDONI, C., EVANGELISTA, D., POLONATA, F., 2010. Life-cycle greenhouse gas analysis of LNG as a heavy vehicle fuel in Europe. **Appl. Energy** **87**, 2005e2013. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.11.012>

BAHIAGÁS. **Primeiro ônibus do país movido a GNV e biometano vem a Salvador**. Companhia de gás da Bahia. 2020. Disponível em: <<https://www.bahiagas.com.br/noticias/item/533-primeiro-onibus-do-pais-movido-a-gnv-e-biometano-vem-a-salvador>>. Acessado em: 13 de agosto de 2022.

BARBOSA, R. L.; SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; VOLPATO, C. E. S. Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando misturas de biodiesel. 2008. **Ciências Agrotec**. Lavras, v. 32, n. 5, p. 1588-1593. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cagro/a/T3fRqdynKbbgp7Zn7KxTj3p/?format=pdf&lang=pt>>. Acessado em: 15 de junho de 2022.

BARRETO, E. **Produção de etanol no Brasil pode dobrar em uma década, aponta Embrapa**. 2022. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/producao-de-etanol-no-brasil-pode-dobrar-em-uma-decada-aponta-embrapa/>>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.

BRAGA, C. F. G. V.; BRAGA, L. V. Desafios da energia no Brasil: panorama regulatório da produção e comercialização do biodiesel. 2012. Fundação Getúlio Vargas. **Cadernos EBAPE. BR**. v. 10, N°3, Opinião 4, Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cebape/a/xtVgqGZsTYWfyvmxfnxRCR-m/?lang=pt&format=pdf>>. Acessado em: 12 de junho de 2022.

BRASIL. **Veículos elétricos e híbridos:** panorama patentário no Brasil. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. 2018. Disponível em: <[https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/arquivos-dirpa/VeiculosEletricosEHibridos\\_FINAL\\_Jan2019.pdf](https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/arquivos-dirpa/VeiculosEletricosEHibridos_FINAL_Jan2019.pdf)>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.

BORGES, R. R.; TEIXEIRA, A. C. R.; MOUETTE, D.; RIBEIRO, F. N. D. Modelagem da dispersão atmosférica de material particulado (MP10) E Os Impactos Da Utilização De Veículos De Carga Movidos a GNL em São Paulo. **Revista Do Departamento De Geografia**. 41 (2021): E185828.

BOSCH. **Manual de Tecnologia Automotiva**. São Paulo: Blucher, 25 ed. 2005.

BOULANGER, P.; ADAM, B. **Motores Diesel**. 1978. São Paulo: Editora Hemus.

DELGADO, Fernanda; QUEIROZ, Helder; COLOMER, Marcelo. Reformas estruturais e regulatórias nos mercados de combustíveis no Brasil. **Revista Conjuntura Econômica**, v. 75, n. 08, p. 44-47, 2021.

CNN Brasil. **Brasil decide manter mistura 10% de biodiesel no diesel para todo o ano de 2022**. 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/brasil-decide-manter-mistura-10-de-biodiesel-no-diesel-para-todo-o-ano-de-2022/>>. Acessado em: 10 de agosto de 2022.

**CNT. CNT lança painel com dados do transporte rodoviário no Brasil.** 2020. Disponível em: <<https://cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-lanca-painel-com-dados-do-transporte-rodoviario-no-brasil>>. Acessado em: 12 de agosto de 2022.

**COBLI. Etanol: vantagens, desvantagens e quando ele é a melhor opção?** 2020. Disponível em: <<https://www.cobli.co/blog/etanol-vantagens-desvantagens/>>. Acessado em: 12 de agosto de 2022.

COOPER, J., HAWKES, A., BALCOMBE, P. 2019. Life cycle environmental impacts of natural gas drivetrains used in UK road freighting and impacts to UK emission targets. **Sci. Total Environ.** 674, 482e493. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.091>.

CORDEIRO, M. G. S. (2017). Gás e energia: utilização do gás natural diante à demanda energética e manutenção do meio ambiente. **Diversitas Journal**, 2(1), 39–44. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v2i4.340>

COSTA, Ângela Oliveira da *et al.* **Nota Técnica DPG-SDB Nº 01/2020: combustíveis renováveis para uso em motores do ciclo diesel.** Combustíveis renováveis para uso em motores do ciclo Diesel. 2020.

BRASIL. **Lei nº 11.097**, de 13 de janeiro de 2005: introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. 2005. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/lei/111097.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111097.htm). Acesso em: 03 ago. 2022

BRASIL. **Lei nº 13.263**, de 23 de março de 2016: percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. 2016. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2016/lei/l13263.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13263.htm). Acessado em: 03 agosto de 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Série Histórica das Safras**. Brasília: 2021. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.

COSTA, I. M.; ALVES, R. R.; ALMEIDA, T. G. O.; JÚNIOR, V. L. **Automóveis híbridos na indústria 4.0 e no Brasil**. 2018. Simpósio de Engenharia de Produção. Disponível em: <[https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/1012/o/99.\\_AUTOM%C3%93VEIS\\_H%C3%8DBRIDOS\\_NA\\_IND%C3%9ASTRIA\\_4.0\\_E\\_NO\\_BRASIL.pdf?1537230849](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/1012/o/99._AUTOM%C3%93VEIS_H%C3%8DBRIDOS_NA_IND%C3%9ASTRIA_4.0_E_NO_BRASIL.pdf?1537230849)>. Acessado em: 16 de agosto de 2022.

DOTSE. **Gás natural pode ser alternativa mais sustentável para substituir o diesel dos caminhões**. Dot Transporter. Disponível em: <<https://dottransporter.com.br/posts/gas-pode-ser-alternativa-mais-sustentavel-para-substituir-o-diesel-dos-caminhoes>>. Acessado em: 17 de julho de 2022.

EMBRAPA. **Soja em números (safra 2020/21)**. Radar da Tecnologia – Soja. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acessado em: 17 de julho de 2022.

EMBRAPA. **Biodiesel**. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel#:~:text=As%20principais%20mat%C3%A9rias%2Dprimas%20para,residuais%20e%20de%20gorduras%20animais>>. Acessado em: 10 de agosto de 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Combustíveis renováveis para uso em motores do ciclo Diesel**. Nota Técnica. 2020. DPG-SDB Nº 01/2020. Rio de Janeiro. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-467/NT\\_Combustiveis\\_renovaveis\\_em\\_%20motores\\_ciclo\\_Diesel.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-467/NT_Combustiveis_renovaveis_em_%20motores_ciclo_Diesel.pdf)>. Acessado em: 10 de junho de 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio**. Nota Técnica. Nº EPE-DEA-NT-003/2021. Brasília: Epe, 2021. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio\\_23Fev2021NT%20\(2\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20(2).pdf). Acesso em: 15 ago. 2022.

ENERGIA, Ministério de Minas e (org.). **Resolução nº 758, de 23 de novembro de 2018**: certificação da produção ou importação eficiente de biocombustíveis e o credenciamento de firmas inspetoras. Certificação da produção ou importação eficiente de biocombustíveis e o credenciamento de firmas inspetoras. 2018.

ENGIE. **Entenda por que o Brasil é uma potência de produção de biogás**, 2021. Disponível em: <[https://www.alemdaenergia.engie.com.br/entenda-porque-o-brasil-e-uma-potencia-de-producao-de-biogas/?gclid=EAIaIQobChMI2eqEuprH-QIVPOFIAB1tRALjEAAYASAAEgIAz\\_D\\_BwE](https://www.alemdaenergia.engie.com.br/entenda-porque-o-brasil-e-uma-potencia-de-producao-de-biogas/?gclid=EAIaIQobChMI2eqEuprH-QIVPOFIAB1tRALjEAAYASAAEgIAz_D_BwE)>. Acessado em: 12 de agosto de 2022.

FARAH, M. A. **Petróleo e seus derivados: Definição, Constituição, Aplicação, Especificações e Características de Qualidade**. PETROBRAS. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

FRAGMAQ. **Conheça as vantagens e desvantagens do etanol**. 2015 Disponível em: <<https://www.fragmaq.com.br/blog/conheca-vantagens-desvantagens-etanol/>>. Acessado em: 16 de agosto de 2022.

GERIS, R. *et al.* Biodiesel from soybean oil: experimental procedure of transesterification for organic chemistry laboratories. **Quím. Nova** 30 (5) • Out 2007 • <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000500053>. Scielo. 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/jqn/a/5RCVpxvN94V8bFnpv8sJSL-J/?lang=pt>>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.

GRUPO WLM – SCANIA. **Quais são os combustíveis alternativos para caminhão?** Economia e Planejamento. 2022. Disponível em: <<https://blogwlmSCANIA.itaipumg.com.br/combustiveis-alternativos/>>. Acessado em: 17 de julho de 2022.

GONÇALVES, F. S. **Petróleo e Combustíveis Industriais: mercado e aplicações**. Universidade Federal do Rio Grande

do Sul. 2010. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/35181/000792972.pdf?sequence=1>>. Acessado em: 10 de agosto de 2022.

GRUPO SÁ. **Lubrificação do motor:** conheça fatores que podem forçar a antecipação da troca. 2016. Disponível em: <<https://mecanicaonline.com.br/2016/07/lubrificacao-do-motor-conheca-fatores-que-podem-forcar-a-antecipacao-da-troca/>>. Acessado em: 05 de agosto de 2022.

GUITIÉRREZ-OPPE, E. D. Gestão de qualidade do biodiesel no Brasil comparada com modelos internacionais. **GEPROS. Gestão da Produção, Operação e Sistemas**, Bauru, ano 8, nº2, 2013. Disponível em: <<https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/download/273/494>>. Acessado em: 11 de agosto de 2022.

GUSTAFSSON, M.; SVENSSON, N. Cleaner heavy transports - environmental and economic analysis of liquefied natural and biomethane. **Journal of Clear Production**, 278, 123535. ELSEVIER. 2021.

IBERDROLA (Espanha). **O que são as estações de hidrogênio e como funcionam?** 2022. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/estacoes-de-hidrogenio>. Acesso em: 28 jul. 2022.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de Energia e de Processos Industriais em 2019**. 2020. Disponível



MACHADO, Fernando Távora Heitman Ferreira. **A utilização do Ônibus a gás natural comprimido na frota de ônibus urbanos como alternativa para a redução da poluição atmosférica na região metropolitana de São Paulo.** 2006. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Interunidades em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MAPFRE. **Vantagens e desvantagens de carros híbridos.** 2022. Disponível em: <<https://www.mapfre.com.br/para-voce/seguro-auto/artigos/vantagens-e-desvantagens-de-carros-hibridos/>>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.

MASSON, I. S. *et al.* **Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar.** 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/ZX8L-VLKmTDPDcykwsZWSfDm/?format=pdf&lang=p>>. Acessado em; 15 de agosto de 2022.

MINISTÉRIOS DAS CIDADES. **Indicadores de efetividade da política nacional e mobilidade urbana.** 2016. Disponível em: <<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/ArquivosPDF/indicadores/fichas-analises/6.1.pdf>>. Acessado em: 13 de junho de 2022.

NATIVIDAD PÉREZ-CAMACHO, M.; CURRY, R.; CROMIE, T. Life cycle environmental impacts of biogas production and utilisation substituting for grid electricity, natural gas grid and transport fuels. 2019. **Waste Manag.** 95, 90-101. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.045>>. Acessado em: 12 de agosto de 2022.

NATURAL RESOURCES CANADA'S OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY – NRCAN. **Termo de cooperação técnica que celebram entre si o Natural Resources Canada's Office Of Energy Efficiency e o Serviço Social do Transporte (SEST) e Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte (SENAT)**. OTTAWA, Canadá, 2017.

NESTE CORPORATION. **Neste renewable diesel handbook**. Espoo, 2016.

OLIVEIRA, A. Óleo vegetal combustível - mais seguro que o diesel e de baixo custo para o produtor. 2019. Disponível em: <[OLIVEIRA, A. \*\*Tudo o que você precisa saber sobre o diesel verde HVO\*\*. 2021. Disponível em: <<https://www.producaodebiodiesel.com.br/combustiveis-e-o-mundo/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-diesel-verde-hvo>>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.](https://www.cpt.com.br/cursos-agroindustria-biocombustivel/artigos/oleo-vegetal-combustivel-mais-seguro-que=-o-diesel-e-de-baixo-custo-para-o-produtor#:~:text=%C3%89%20um%20combust%C3%ADvel%20seguro%20e,o%20ar%2C%20nem%20a%20%C3%A1gua.>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.</p></div><div data-bbox=)

PETROBRAS. Óleo Diesel - Informações Técnicas. 2021. Disponível em: <[https://petrobras.com.br/data/files/04/93/72/4C/5A39C710E2EF93B7B8E99EA8/Manual-de-Diesel\\_2021.pdf](https://petrobras.com.br/data/files/04/93/72/4C/5A39C710E2EF93B7B8E99EA8/Manual-de-Diesel_2021.pdf)>. Acessado em: 10 de agosto de 2022.

PINHO, D. M. M.; SUAREZ, P. A. Z. A hidrogenação de óleos e gorduras e suas aplicações industriais. 2013. **Revista Virtual de Química**, 5 (1), 47-62. Disponível em: <<https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/1285870/58/HidrogenacaodeOleoseGorduras.Artigo.pdf>>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.

PORTAL DO ABC. **Biogás: as vantagens do biocombustível gerado de matéria orgânica.** 2020. Disponível em: <<https://www.abcdoabc.com.br/brasil-mundo/noticia/biogas-vantagens-biocombustivel-gerado-partir-materia-organica-109557>>. Acessado em: 10 de agosto de 2022.

PORTAL BIOENERGIA. **Uso do biometano em frota de veículos pesados.** 2019. Disponível em: <<https://www.canalbioenergia.com.br/uso-de-biometano-em-frota-de-veiculos/>>. Acessado em: 13 de agosto de 2022.

RAMOS, A. **Avaliamos o Scania R 410 GNL, único caminhão do tipo à venda no Brasil.** Estradão – Estadão. 2022. Disponível em: <<https://estradao.estadao.com.br/caminhoes/avaliamos-o-scania-r-410-gnl-unico-caminhao-do-tipo-a-venda-no-brasil/>>. Acessado em: 11 de agosto de 2022.

REIS, P. **Vantagens e desvantagens da energia do biogás.** 2012. Portal Energia - Energias Renováveis. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-do-biogas/>>. Acessado em: 12 de agosto de 2022.

REIS, Marcelo Cardoso dos *et al.* Panorama evolutivo da produtividade de biocombustíveis no Brasil nos últimos 10 anos. **Brazilian Journal Of Production Engineering - Bjpe**, [S.L.], p. 34-46, 29 abr. 2022. Universidade Federal do Espírito Santo. <http://dx.doi.org/10.47456/bjpe.v8i3.36951>. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/36951/25037>. Acesso em: 17 ago. 2022.

RENOVABIO. **Proposta das instituições presentes na reunião de construção do RENOVABIO Biocombustíveis: biogás e biometano.** Disponível em: <[http://antigo.mme.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=87ed2d4e-5a4a-db-52-5d0b-737d2662ac9c&groupId=36224](http://antigo.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=87ed2d4e-5a4a-db-52-5d0b-737d2662ac9c&groupId=36224)>. Acessado em: 12 de agosto de 2022.

RESEARCH CENTRE FOR GREENHOUSE GAS INNOVATION. **Estudo avalia alternativas ao diesel para os caminhões de carga.** 2021. Disponível em: <<https://www.rcgi.poli.usp.br/pt-br/estudo-avalia-alternativas-ao-diesel-para-os-caminhoes-de-carga/>>. Acessado em: 17 de julho de 2022.

ROYAL FIC. **Breve história do etanol no Brasil.** 2021. Disponível em: <<https://www.royalficinstitucional.com.br/breve-historia-do-etanol-no-brasil/>>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.

SAMÓDIO, Miguel Alves. **Produção de biocombustíveis líquidos por hidrogenação, a partir de efluentes orgânicos da indústria do azeite.** 2018. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do

Ambiente, E Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2018.

SANTOS, L. A.; AMARAL, M. F. **Caracterização e avaliação de combustível renovável para motores de ciclo Diesel**. 2012. Relatório Acadêmico. Universidade de Brasília. Disponível em: <[https://bdm.unb.br/bitstream/10483/6659/6/2012\\_LucianoArmandoDosSantos\\_MariliaFrancolinAmaral.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/6659/6/2012_LucianoArmandoDosSantos_MariliaFrancolinAmaral.pdf)>. Acessado em: 14 de junho de 2022.

SANTOS, P. H. S. **Panorama atual da produção de bioetanol no Brasil no mundo**. 2020. Universidade de Brasília. Disponível em: <[https://bdm.unb.br/bitstream/10483/28512/1/2020\\_PedroHenriqueDeSousaSantos\\_tcc.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/28512/1/2020_PedroHenriqueDeSousaSantos_tcc.pdf)>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.

SCANIA. **Caminhões SCANIA movidos a gás - a energia do amanhã, hoje**. 2020. Disponível em: <[https://www.scania.com/content/dam/www/market/br/pdfs1/especificacoes/caminhoes/00087-2020\\_caminhoes\\_a\\_gas\\_Low.pdf](https://www.scania.com/content/dam/www/market/br/pdfs1/especificacoes/caminhoes/00087-2020_caminhoes_a_gas_Low.pdf)>. Acessado em: 10 de agosto de 2022.

SILVA, T. E. P.; CARVALHO, D. O.; SILVA, M. J. P.; SANTOS, N. E. S.; COSTA, P. P. R. Enxofre: um poluente em potencial na composição do óleo diesel brasileiro. IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2013. **Anais...** Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/XI-081.pdf>>. Acessado em: 10 de agosto de 2022.

SILVA, C. B. **Abordagem teórica do processo de geração de biometano a partir de resíduos agroindustriais**. Dissertação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestrado em Engenharia de Produção. 2017.

SILVEIRA, P. **Conheça o HVO, o diesel do futuro ecologicamente correto**. 2022. Disponível em: <<https://garagem360.com.br/conheca-o-hvo-o-diesel-do-futuro-ecologicamente-corret>>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.

SINIGAGLIA, Tiago. **Análise da competitividade da utilização do hidrogênio como combustível na mobilidade**. 2018. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

SPEIRS, J., BALCOMBE, P., BLOMERUS, P., STETTLER, M., ACHURRA-GONZALEZ, P., WOO, M., AINALIS, D., COOPER, J., SHARAFIAN, A., MERIDA, W., CROW, D., GIAROLA, S., SHAH, N., BRANDON, N., HAWKES, A. 2020. Natural gas fuel and greenhouse gas emissions in trucks and ships. **Prog. Energy** 2, 012002. <https://doi.org/10.1088/2516-1083/ab56af>.

STATISTA. **Leading biodiesel producers worldwide in 2019, by country (in billion liters)**. 2021. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/271472/biodiesel-production-in-selected-countries>>. Acessado em: 17 de julho de 2022.

STATISTA. **Distribution of the production capacity of bio-fuels worldwide in 2018, by country**. 2021. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/973893/production-ca>

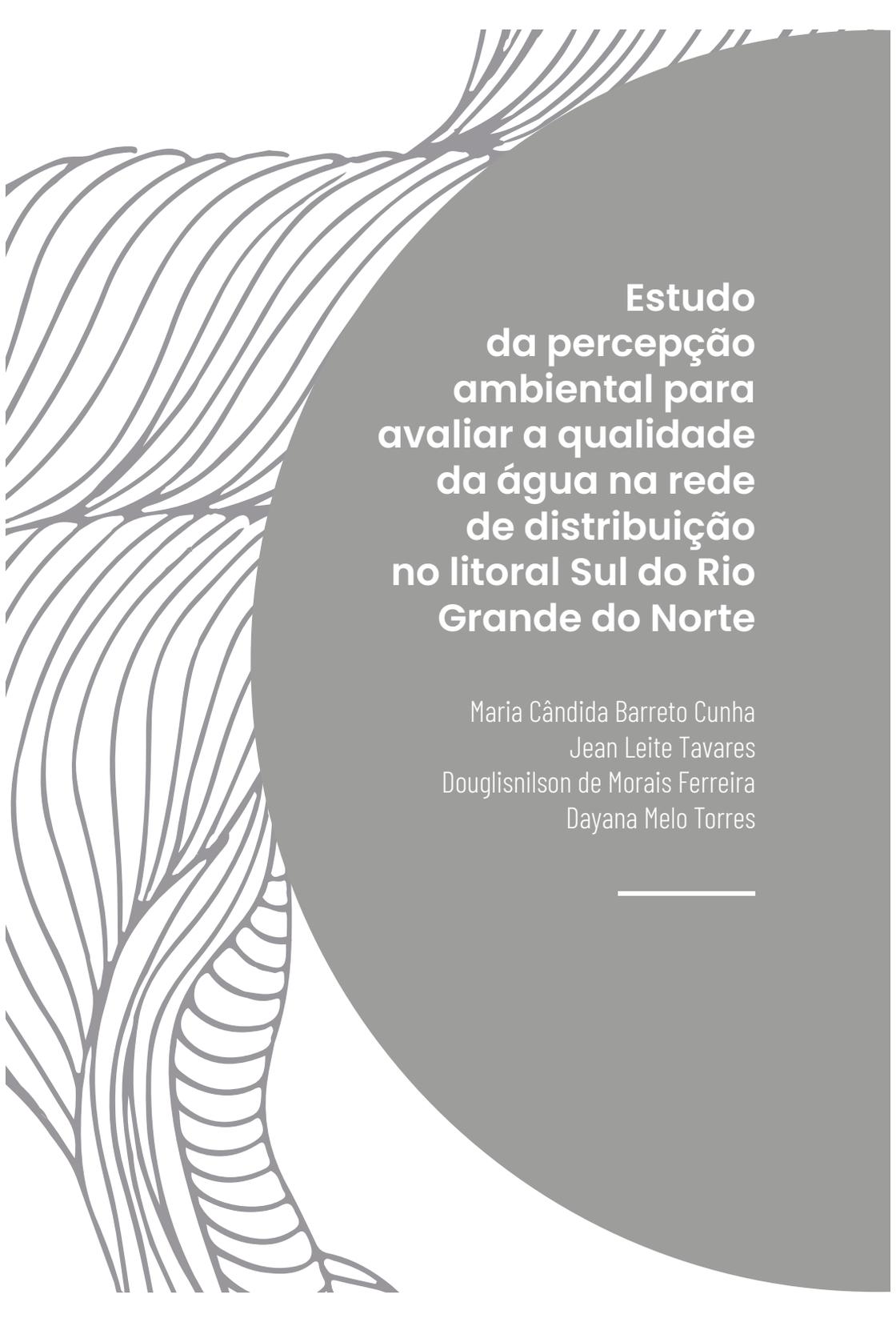
capacity-biofuels-globally-by-country/ >. Acessado em: 17 de julho de 2022.

TAMERS, M. **A diferença entre bioetanol e o etanol de petróleo.** 2006. Disponível em: <<https://www.betalabservices.com/portugues/biocombustiveis/petroleo-etanol.html#:~:text=O%20bioetanol%20e%20o%20etanol,bioetanol%20deriva%20de%20materiais%20contempor%C3%A2neos.>>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.

UNICA. Ônibus movido a etanol. BEST etanol para o transporte sustentável. 2020. Disponível em: <<https://unica.com.br/wp-content/uploads/2020/10/onibus-movido-a-etanol.pdf>>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.

YUKSEL, A. **Benefícios de combustíveis alternativos e flexibilidade de combustível.** 2021. Cummins. Disponível em: <<https://www.cummins.com/pt/news/2021/10/29/benefits-alternative-fuels-and-fuel-flexibility>>. Acessado em: 17 de julho de 2022.

ZENATTI, D. C. **Biometano, obtenção e aproveitamento.** 2019. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <<https://palotina.ufpr.br/bioenergia/wp-content/uploads/sites/5/2019/05/Biogas.pdf>>. Acessado em: 12 de agosto de 2022.

The image features a large, dark grey circle on the right side, partially overlapping a white background. On the left side, there are intricate white line patterns that resemble stylized waves or a textured surface, extending from the top left towards the bottom left. The text is positioned within the grey circle.

**Estudo  
da percepção  
ambiental para  
avaliar a qualidade  
da água na rede  
de distribuição  
no litoral Sul do Rio  
Grande do Norte**

Maria Cândida Barreto Cunha  
Jean Leite Tavares  
Douglnilson de Moraes Ferreira  
Dayana Melo Torres

---

# Introdução

Perceber o ambiente ao seu entorno é um processo individual, porém, pode ser influenciado pelo contexto social, político e cultural no qual o indivíduo está inserido. Conforme sugere Zanini *et al.* (2021), estudos de percepção ambiental partem da realidade de cada grupo social, pois cada sujeito constrói seus valores ao se relacionar consigo mesmo e com o meio que o cerca.

No que se refere ao saneamento básico, o estudo da percepção ambiental surge como uma ferramenta para auxiliar na melhoria e na avaliação do grau de satisfação e confiabilidade dos usuários mediante a prestação desses serviços essenciais e, de fundamental importância para a saúde pública, para a qualidade de vida de uma população e para a preservação do meio ambiente (CUNHA; CANAN, 2015). Define-se saneamento, pela Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020, como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2020).

Um dos serviços do saneamento básico considerado prioritário e fundamental, de grande importância à saúde e ao desenvolvimento das sociedades, é o abastecimento de água (MAIA *et al.*, 2015), constituído pelas atividades, disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição (BRASIL, 2020).

No mundo todo, há um esforço crescente na busca de disponibilidade de água para a população, em qualidade e quantidade suficiente frente às suas demandas de consumo. Corroborando com isso, a Organizações das Nações Unidas – ONU – definiu o acesso universal e equitativo à água potável e segura para todos como um dos 12 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda ONU 2030.

No entanto, diante das dificuldades de gerenciamento, de políticas públicas e de investimentos no setor, atrelada à falta de educação ambiental da população e reforçada pela baixa qualidade dos serviços de saneamento básico e as constantes alterações climáticas, percebemos cada vez mais a diminuição na qualidade e quantidades dos recursos hídricos, inviabilizando, em muitos casos, o uso do manancial ou encarecendo o tratamento da água para o consumo humano.

De acordo com a Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021), que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, a água chega aos consumidores por meio de sistema de abastecimento de água ou por solução alternativa (coletiva ou individual) de abastecimento de água, em que, no primeiro caso, existe uma interligação de tubulações e acessórios às ligações prediais, definida como rede de distribuição e, no segundo caso, não há rede de distribuição.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico (SNIS), em 2020, dos 5.570 municípios brasileiros, 5.350 (96,1%) responderam à pesquisa sobre Sistemas de Abastecimento de Água e a média de total de atendimento no Brasil está em 84,1%. Ressalta-se que o índice utilizado pelo SNIS é referente ao acesso por meio de rede

geral de distribuição, não incluídas as soluções individuais ou alternativas de acesso ao abastecimento de água (IBGE, 2021).

Em 2021, o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLAN-SAB) publicou o Relatório de Avaliação do ano de 2019. No documento, os maiores índices de abastecimento de água por rede, poço ou nascente, em domicílios urbanos e rurais estão concentrados nas regiões Sul (99,4% e 95,8%), Sudeste (98,8% e 90,4%) e Centro-Oeste (98,5% e 84,9%). As regiões Nordeste e Norte apresentaram percentuais de 95,7% e 56,7%; 91,9% e 51,4%, respectivamente (BRASIL, 2021).

Esses dados refletem as discrepâncias existentes no país com relação ao acesso à água. É importante observar que nas regiões com maiores coberturas de sistemas de abastecimento de água - Regiões Sul e Sudeste - a cobertura da zona rural equivale ou supera os percentuais da zona urbana nas demais regiões - Nordeste, Centro-Oeste e Norte.

Nessa perspectiva, estudos de percepção ambiental se fazem necessários para fornecer dados e subsidiar melhorias nos serviços de saneamento básico, sobretudo no abastecimento de água fornecida à população. Conforme destacam Menezes Filho e Martins (2017), a participação popular deve ser considerada na avaliação dos serviços prestados e servir de parâmetro na gestão e tomada de decisões dos órgãos municipais e empresas concessionárias (EVARISTO *et al.*, 2017).

Para Lima *et al.* (2017), conhecer a satisfação dos consumidores em relação aos serviços de saneamento configura-se como ferramenta capaz de auxiliar a gestão desses serviços. Zanini *et al.* (2021) reforçam que de forma deliberada ou não, estamos envolvidos na geração de impactos ambientais, pois precisamos continuar a produzir alimentos, matéria-prima e

energia. Nesse contexto, ressalta-se a importância do desenvolvimento de estudos de percepção ambiental, como forma de conhecer as atuais relações que os diversos atores sociais estabelecem com o ambiente, e de se pensar em estratégias para tornar setores produtivos mais sustentáveis, reduzir os impactos ambientais e promover a melhoria da qualidade de vida humana (ZANINI *et al.*, 2021).

Objetiva-se, com este trabalho, realizar um levantamento bibliográfico sistemático a fim de evidenciar a importância de estudos de percepção ambiental para avaliar o grau de aceitação e confiabilidade da população com relação à água fornecida pelas empresas concessionárias para o consumo humano.

## Metodologia

O presente trabalho é uma revisão sistemática de artigos científicos publicados em periódicos, em que os critérios utilizados na escolha foram baseados na temática abordada desta revisão.

A pesquisa foi realizada no site CAPES (<https://www-periodicos-capes-govbr.ez1.periodicos.capes.gov.br/>) utilizando os filtros de busca: percepção ambiental; saneamento; água e sistema de abastecimento de água. No intuito de refinar ainda mais a pesquisa, utilizou-se o filtro “Periódicos revisados por pares” e definiu-se o período de 10 anos da data de publicação (2012 a 2022).

Diante do número elevado de resultados apresentados e obedecendo a temática adotada, foram selecionados 11 artigos científicos, que utilizaram o estudo da percepção ambiental

como forma de avaliar sistemas de abastecimento de água, que seguem dispostos no Quadro 1.

**Quadro 1** – Relação de trabalhos publicados em periódicos

<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Palavras-chave</b>	<b>Periódico</b>
daniella Maia, Lindemberg Lima Fernandes e Luiza Girard Teixeira	Diagnóstico do Abastecimento do consumo de água segundo a Percepção do usuário em duas áreas residenciais no Estado do Pará	Avaliar o abastecimento e consumo de água na Percepção do usuário em áreas residenciais nas cidades de Santarém e Belém, localizadas no Estado do Pará.	Sistema de abastecimento de água. Percepção. Usuário. Diagnóstico.	Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 105, 9 out.2015
Maria Cândida B. Cunha e Bhaskara Canan	Percepção Ambiental de moradores do bairro Nova Parnamirim em Parnamirim /RN sobre saneamento básico	Avaliar a percepção ambiental de moradores do bairro Nova Parnamirim em Parnamirim/RN quanto aos serviços de saneamento básico.	Saneamento básico. Percepção Ambiental. Nova Parnamirim.	Revista HOLOS, [S.L.], v. 1, p. 133, 19 fev. 2015. (IFRN)
Aline Souza Carvalho Lima, Paulo Sérgio Scalize, Poliana Nascimento Arruda e Luiz Rodrigo Fernandes Baumann	Satisfação e Percepção dos usuários dos Sistemas de saneamento de municípios goianos operados pelas prefeituras	Avaliar a satisfação dos consumidores a respeito dos serviços de saneamento básico gerenciados Diretamente pelas Prefeituras em 21 municípios do estado de Goiás.	Saneamento. Consumidor. Água. Esgoto. Resíduo Sólido. drenagem urbana.	Revista Eng. Sanit. Ambiental 2017
Otávio da Silva Custódio e Nei Kavaguichi Leite	Percepção ambiental dos moradores das comunidades de Ratonés e Lagoa do Peri, Ilha de Santa Catarina	Avaliar as percepções de ribeirinhos sobre a situação de corpos d'água nas localidades do Rio Ratonés e da Lagoa do Peri em Florianópolis, Ilha de Santa Catarina	Recursos hídricos. Percepção ambiental. Ilha de Santa Catarina.	Revista Eletrônica de Extensão, [S.L.], v. 14, n. 25, p. 150, 14 jun. 2017. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

<p>Gabriela Vieira Evaristo; Juni Cordeiro; Cibele Andrade Alvarenga; Lorena Torres Porto; Pablo Lopes Quintão; Giovanna Moura Calazans e José Luiz Cordeiro</p>	<p>Saneamento básico e percepção ambiental: um estudo realizado na comunidade Candidópolis em Itabira, Minas Gerais</p>	<p>Verificar o acesso aos serviços de saneamento básico e a percepção ambiental dos moradores na comunidade Candidópolis, localizada na zona rural de Itabira/MG.</p>	<p>Abastecimento de água. Comunidade rural. Esgotamento sanitário. Educação ambiental. Resíduos sólidos.</p>	<p>Research, Society and Development, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 45-61, 13 dez. 2016.</p>
<p>Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho, Raquel Franco de Souza e Reinaldo Antônio Petta</p>	<p>Avaliação da água para consumo Humano nas Comunidades Rurais do Campo Petrolífero Canto do Amaro CPCA, RN, Brasil</p>	<p>Avaliar o sistema de Abastecimento e a qualidade da água para consumo humano das Comunidades rurais do Campo Petrolífero Canto do Amaro – CPCA, RN a partir da percepção ambiental e análises físico-químicas e de metais pesados na água.</p>	<p>Abastecimento de Água. Consumo Doméstico de Água. Saúde Ambiental.</p>	<p>Sustentabilidade em Debate, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 102-119, 31 ago.2018.</p>
<p>Samina Khalid, Behzad Murtaza, Irum Shaheen, Muhammad Imran et Muhammad Shahid</p>	<p>Percepção Pública da Qualidade da Água Potável e Riscos à Saúde no Distrito Vehari, Paquistão</p>	<p>Determinar informações demográficas dos Entrevistados, Conhecimento sobre a qualidade da água potável, fontes de tratamento de água e saneamento e doenças transmitidas pela água</p>	<p>Qualidade da água. Inquérito por questionário. doenças.</p>	<p>Hors-série 31   septembre 2018</p>

<p>Danitielle Cineli Simonato, Rodolfo Antônio de Figueiredo, Carolina Buso Dornfeld, Vanilde Ferreira de Souza Esquerdo e Sonia Maria Pessoa Pereira Bergamasco</p>	<p>Saneamento rural e percepção ambiental em um assentamento rural - São Paulo - Brasil</p>	<p>Analisar as questões Referentes ao saneamento básico (abastecimento de água, coleta de esgoto e de resíduos sólidos) e a Percepção ambiental de assentados rurais do Assentamento Estrela da Ilha – Ilha Solteira – São Paulo</p>	<p>Qualidade de Vida. Reforma Agrária. Saneamento Básico. Saúde Pública.</p>	<p>Retratos de Assentamentos, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 264- 280, 1 ago. 2019.</p>
<p>Helga Madrigal Solís, Silvia Echeverría Sáenz, Yanina Pizarro-Mendez, Carolina Alfaro Chinchilla, Sylvia Jiménez Cavallini, Jacqueline Centeno Morales, Nelly López-Alfaro e Andrea Suárez Serrano</p>	<p>O que pensamos sobre a água? Percepção Pública da Situação Atual dos Recursos Hídricos na Costa Rica: um Indicador de Compreensão e Gestão da Água</p>	<p>Determinar o nível de conhecimento e percepção da população da Costa Rica sobre a água, como: o consumo humano, os Conceitos gerais, o impacto das atividades humanas, a ocorrência de eventos extremos, a gestão e manejo</p>	<p>Água. Recurso hídrico. Percepção social. Políticas públicas. Costa Rica.</p>	<p>Uniciencia, [S.L.], v. 34, n. 1, p. 159-188, 31 jan.2020.</p>
<p>Júlia Barros Peroni, Lívia Hernandes Carvalho e Lucíola Santos Lannes</p>	<p>Aspectos de Qualidade da água e saneamento básico em um assentamento Rural no interior de São Paulo: Diagnóstico e perspectivas para a melhoria da qualidade sócio ambiental</p>	<p>Investigar acerca da Percepção ambiental e determinação da Contaminação de coliformes fecais em água utilizada para consumo. Aspectos no Assentamento "União da Vitória", no município de Suzanópolis/SP</p>	<p>Assentamento rural; Coliformes fecais; Percepção ambiental.</p>	<p>Research, Society and Development, [S. I.], v. 10, n. 2, p.10212293, 2021.</p>

Fonte: elaboração própria (2022)

## Resultados e discussão

Um diagnóstico avaliativo sobre a percepção ambiental pode ser realizado com diversos grupos, porém para a sistematização dessa revisão, utilizou-se como público-alvo moradores de bairros e comunidades rurais de cidades localizadas nas cinco Regiões do Brasil, além de estudos em realidades similares ao contexto nacional, o que permite concluir que se trata de um apelo mundial a melhores condições de qualidade, quantidade e segurança na distribuição hídrica à população.

Quanto ao período e número de participantes a serem entrevistados e/ou avaliados, o universo amostral pode variar e depende, sobretudo, do tempo e dos recursos disponíveis para a realização da pesquisa.

Na Região Norte, Maia *et al.* (2015) e Silva e Silva (2021) realizaram, no estado do Pará, diagnósticos dos sistemas de abastecimento de água das cidades de Santarém e Belém, no período de dezembro de 2013 a junho de 2014, e de Tucuruí, nos meses de julho e agosto de 2020, respectivamente. Foram aplicados questionários em 284 residências do bairro do Aeroporto Velho - Santarém, em 395 residências no Conjunto Mendara, bairro da Marambaia em Belém, e em três bairros do município de Tucuruí.

Na Região Sudeste, Peroni *et al.* (2021) e Simonato *et al.* (2019) desenvolveram suas pesquisas em assentamento rurais do interior do estado de São Paulo. Foram aplicados questionários estruturados em 50 famílias do assentamento União da Vitória, no município de Suzanópolis, no ano de 2015, e

com 35 famílias no assentamento Estrela da Ilha, em Ilha Solteira, no ano de 2013.

Evaristo *et al* (2017) realizaram um diagnóstico por meio de um questionário contendo questões fechadas, voltadas para o saneamento básico, condições sanitárias e de higiene das famílias, bem como para a percepção ambiental dos moradores, na comunidade rural de Candidópolis, Itabira/MG, nos meses de junho, julho e agosto de 2014.

Na Região Sul, Custódio e Leite (2017) realizaram entrevistas padronizadas, seguindo um roteiro de 50 questões, objetivas e discursivas. Ao total, foram realizadas 27 entrevistas no Ratonas e 24 na Lagoa do Peri, ambas em Florianópolis/SC, realizadas nos dias 14 e 21 e 28 de outubro de 2015.

No Centro-Oeste, Lima *et al.* (2017) expandiram o universo amostral para 21 municípios no Estado de Goiás, no período de março de 2013 a março de 2014, também utilizando a metodologia de aplicação de questionários.

Na Região Nordeste, Cunha e Canan (2015) e Pinto Filho *et al.* (2018) desenvolveram suas pesquisas de percepção ambiental no Estado do Rio Grande do Norte. Aplicaram 40 questionários entres os dias 21 e 22 de julho de 2014 no bairro Nova Parnamirim, em Parnamirim/RN. Estes, em comunidades rurais pertencentes à região do Campo Petrolífero Canto do Amaro - CPCA/RN, de fevereiro a março de 2014, totalizando 254 questionários aplicados.

No âmbito internacional, destacam-se os trabalhos de Khalid *et al.* (2018), realizado de agosto a setembro de 2015, que consiste na percepção junto a moradores do distrito de Vehari, Paquistão. Estudo mais complexo foi desenvolvido por Madrigal Solís *et al* (2020), com a participação de 800

peças, por meio de uma pesquisa semiestruturada, através de chamadas para telefones fixos, no intuito de determinar o nível de conhecimento e percepção da população da Costa Rica sobre a água, abordando temas como consumo humano, conceitos gerais, impacto das atividades humanas, ocorrência de eventos extremos, gestão e manejo.

Em suas conclusões, Maia *et al.* (2015) verificaram que há um grande percentual de usuários satisfeitos com a qualidade da água: 44% dos moradores do bairro do Aeroporto Velho em Santarém/PA consideram a água como boa e excelente, porém 84% dos domicílios apontaram sofrer com a falta de água periodicamente. No Conjunto Mendara em Belém/PA, esses percentuais são de 32% e 15%, respectivamente.

Para Silva e Silva (2021), grande parte da população abastecida pelo SAA de Tucuruí/PA classificam a água distribuída como ruim, sendo a maior porcentagem representada pelos bairros Góes Calmont (63,64%), enquanto 38,89% dos moradores do bairro Santa Mônica classificaram a água como sendo péssima. Para os autores, apesar da Região Amazônica possuir áreas com grande abundância de água, os bairros Getat, Santa Mônica e Góes Calmont (Paravoá) ainda sofrem com o problema de falta de água ocasionado pela baixa qualidade dos serviços de abastecimento de água.

Os trabalhos realizados na Região Sudoeste foram desenvolvidos em assentamentos rurais no interior de São Paulo, onde Peroni *et al.* (2021) verificaram boa qualidade microbiológica da água consumida, porém o conhecimento dos assentados em relação ao saneamento básico é deficiente, devido à carência de informações advindas de órgãos responsáveis por orientar a população sobre assuntos sanitários. Em discor-

dância, Simonato *et al.* (2019) perceberam que a qualidade da água foi apontada como um quesito preocupante para os assentados, pois segundo relatos, eles não sabiam qual era a qualidade da água que consumiam. Para Evaristo *et al.* (2017), 70% dos moradores entrevistados se dizem satisfeitos com o poço artesiano que abastece a comunidade, enquanto 20% responderam que a melhor forma de abastecimento é a rede de distribuição do SAAE em Candidópolis/MG.

O saneamento no meio rural é um desafio em relação à promoção da saúde e da qualidade de vida. As fragilidades e preocupação dos assentados com relação ao saneamento são evidentes, considerando a quantidade e a qualidade da água. (SIMONATO *et al.*, 2019).

Cunha e Canan (2015) perceberam que 70% dos entrevistados declararam estar satisfeitos com a qualidade e quantidade de água fornecida. O principal motivo de insatisfação dos demais (30%) está relacionado à insegurança sobre a qualidade da água. Pinto Filho *et al.* (2018) verificaram que o critério de quantidade da água obteve avaliação inferior quando comparado com a qualidade na percepção dos moradores, uma vez que o sistema de abastecimento de água das comunidades do CPCA/RN ocorre de forma heterogênea, por meio de poço em Mossoró, e carros pipa em Areia Branca, com limitações na oferta desse recurso.

Questões relacionadas ao abastecimento têm gerado preocupação por parte de especialistas e gestores, visto que a dificuldade de acesso e a qualidade da água são considerados fatores de risco para a saúde, comprometendo o desenvolvimento da população (PINTO FILHO *et al.*, 2018).

Lima *et al.* (2017) concluíram que, para o indicador Sistema de Abastecimento de Água (SAA), 80,9%, dos 21 municípios pesquisados no Estado de Goiás, estão com satisfação acima de 50%, e, desse total, 33,3% encontram-se com satisfação acima de 74%. A satisfação e a percepção dos consumidores com relação aos sistemas de saneamento nem sempre estão ligadas à eficiência desses sistemas, por isso, conhecer a satisfação dos consumidores em relação aos serviços de saneamento configura-se como ferramenta capaz de auxiliar a gestão desses serviços (LIMA *et al.*, 2017).

Em Florianópolis/SC, Custódio e Leite (2017) concluíram que o abastecimento pela rede pública no Ratonés é de 78% e, na comunidade Lagoa de Peri, de 92%. Entretanto, 89% dos moradores do bairro já tiveram algum problema com a água, enquanto 58% enfrentaram problemas com a água na comunidade da Lagoa do Peri. Várias residências encontram-se desligadas da rede pública de abastecimento de água, e seus moradores acabam recorrendo a alternativas como mananciais superficiais e subterrâneos, embora estes sejam desprovidos de sistemáticas de tratamento (CUSTÓDIO; LEITE, 2017).

De acordo com Khalid *et al.* (2018), quando questionados sobre a satisfação da qualidade da água potável, 12,5% dos moradores de Vehari relataram que a água é adequada, 6,9% relataram que a qualidade da água é satisfatória, 26,4% relataram água imprópria e 54,2% não fizeram o teste da água. No Paquistão, a maioria da população não tem acesso a água potável devido à presença de diferentes tipos de poluentes (KHALID *et al.*, 2018).

Para Madrigal-Solís *et al.* (2020), felizmente 92,5% de toda a população da Costa Rica tem água de boa qualidade.

Nesse sentido, 98% dos entrevistados consideraram que “a água pertence a todas as pessoas”, o que possivelmente é um reflexo da percepção arraigada da população sobre os direitos universais à água. Quanto à percepção dos problemas relacionados à água nas comunidades, quase 80% dos entrevistados considera que não tem problemas de água, enquanto 21,6% das pessoas indicaram que seus principais problemas são a água oferecida ou escassez, infraestrutura limitada, má gestão do recurso, poluição e falta de água na estação seca. As percepções da população costarriquenha sobre os recursos hídricos permitem identificar lacunas de informação, ideias errôneas enraizadas na população e apontam para medidas corretivas medidas com informações confiáveis no campo educacional, opinião pública em geral e nos tomadores de decisão.

## Conclusões

Diante do exposto, são notórias as fragilidades existentes nos serviços de abastecimento de água com relação à qualidade e à quantidade de água destinada ao consumo humano, uma vez que, em todos os artigos revisados, um ou dois indicadores foram apresentados como o principal motivo de maior insatisfação da população, tanto em sistemas de abastecimento água ou pelos sistemas alternativos de abastecimento água, como no caso das comunidades rurais.

A intermitência no fornecimento de água é um dos gargalos das empresas de saneamento, que precisam manter suas redes de distribuição em funcionamento constante. Nesse contexto, estudos de percepção ambiental alinhados à contextualização social permitem criar subsídios de apoio na

elaboração de planos de ação nas empresas de saneamento. Diante disso, ressalta-se a importância de, sempre que possível, conciliar esse tipo de estudo a dados de controle de qualidade da água.

## Referências

BRASIL. **Lei nº 14.026**, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Diário Oficial da união, Brasília, DF, 2020.

BRASIL. **Portaria nº 888**, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da união, Brasília, DF, 2021.

BRASIL. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB**. Relatório de Avaliação Anual 2019.

CUNHA, M. C. B.; CANAN, B. Percepção ambiental de moradores do bairro Nova Parnamirim em Parnamirim/RN sobre saneamento básico. **Holos**, [S.L.], v. 1, p. 133, 2015.

CUSTÓDIO, O. da S.; LEITE, N. K. Percepção ambiental dos moradores das comunidades de Ratoles e Lagoa do Peri, Ilha de Santa Catarina. **Extensio**: Revista Eletrônica de Extensão, [S.L.], v. 14, n. 25, p. 150, 2017.

EVARISTO, G. V. *et al.* Saneamento básico e percepção ambiental: um estudo realizado na comunidade Candidópolis em Itabira, Minas Gerais. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 45-61, 2016.

IBGE. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil**: SNIS. 2021.

KHALID, S. *et al.* Public Perception of Drinking Water Quality and Health Risks in the District Vehari, Pakistan. **Vertigo**, [S.L.], n. -31, p. 1-14, 2018.

LIMA, A. S. C. *et al.* Satisfação e percepção dos usuários dos sistemas de saneamento de municípios goianos operados pelas prefeituras. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 415-428, 2017.

MAIA, D.; FERNANDES, L. L.; TEIXEIRA, L. G. Diagnóstico do abastecimento e consumo de água segundo a percepção do usuário em duas áreas residenciais no Estado do Pará. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 105, 2015.

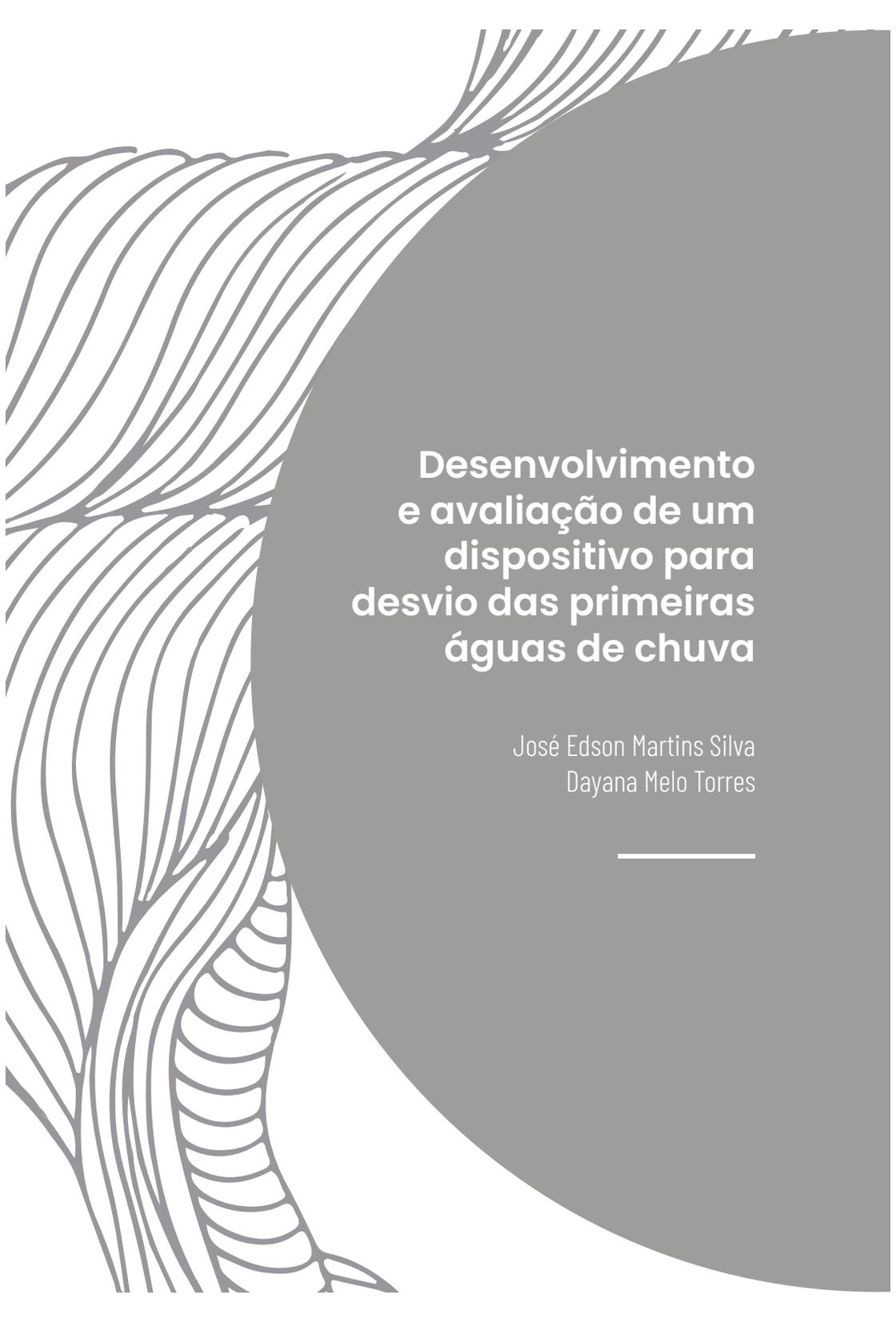
PERONI, J. B.; CARVALHO, L. H.; LANNES, L. S. Aspectos de qualidade da água e saneamento básico em um assentamento rural no interior de São Paulo: diagnóstico e perspectivas para a melhoria da qualidade socioambiental. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 1-13, 2021.

PINTO FILHO, J. de O.; SOUZA, R. F. de; PETTA, R. A. Avaliação da água para consumo humano nas comunidades rurais do Campo Petrolífero Canto do Amaro-CPCA, RN, Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 102-119, 2018.

SILVA, R. O. da; SILVA, A. B. da. Diagnóstico do Sistema de Abastecimento de Água em Zona Urbana Sob a Percepção do

Usuário no Município de Tucuruí-PA. **Revista de Ciência e Tecnologia**, [S.L.], v. 7, p. 1-18, 2021.

ZANINI, A. M. *et al.* Estudos de percepção e educação ambiental: um enfoque fenomenológico. **Revista Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, [S.L.], v. 23, p. 1-14, 2021.



# Desenvolvimento e avaliação de um dispositivo para desvio das primeiras águas de chuva

José Edson Martins Silva  
Dayana Melo Torres

---

# Introdução

Segundo Kounina *et al.* (2013), a escassez hídrica pode ser definida como o consumo de água que se aproxima ou excede a capacidade natural de regeneração de um corpo hídrico, ou seja, é a situação caracterizada por falta de água para atendimento das demandas padrões de dessedentação, de higiene, de limpeza e de processos de manufatura que utilizam a água. É potencializada pelo consumo crescente, poluição dos recursos hídricos, degradação dos recursos naturais, mudanças climáticas e ausência de infraestrutura de saneamento básico.

Mekonnen & Hoekstra (2016) apontam que dois terços da população global, cerca de 4 bilhões de pessoas, vivem em condições de escassez severa de água por, pelo menos, 1 mês durante o ano. Além disso, meio bilhão de pessoas no mundo enfrentam escassez de água severa durante todo o ano. O Brasil, em termos hidrológicos, comporta 12% das reservas de água doce e algumas das maiores bacias hidrográficas do mundo (OECD/FAO, 2015), porém essa disponibilidade de água não é uniforme.

Em se tratando do Nordeste do Brasil, tem-se que essa região detém 3% de toda água doce do país e apresenta clima semiárido em grande porção de seu território, devido às condições climáticas e geográficas. Compreende 1.127.953 km<sup>2</sup> de área superficial, 1.262 municípios distribuídos em 10 estados e uma população de 27.607.440 habitantes, em que 38% está em área rural e 62% em área urbana (SUDENE, 2017; IBGE, 2018; SUDENE, 2021; ANA, 2018). O clima semiárido tem características de períodos de chuva intercalados por longos períodos de estiagem, altos índices de insolação e altas taxas

de evapotranspiração em mananciais superficiais (BRASIL, 2005; SILVA *et al.*, 2010; ANA, 2018; SUDENE, 2021). Dados do relatório “Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas de 2021” (IPCC, 2021) indicam que, até 2030, haverá uma queda de cerca de 30% em precipitações pluviométricas e um aumento da temperatura para o dobro do padrão mundial, ou seja, uma mudança na ordem de 3°C. Tais transformações incidem no processo de desertificação, produzindo um impacto social e econômico na capacidade de produção de alimentos e no esvaziamento dessas áreas por conta da improdutividade das terras. Agrega-se, a estas características, as falhas na gestão dos recursos hídricos e a falta de educação da população em relação ao uso e à importância da água como bem imprescindível à vida humana e às cadeias produtivas, gerando constante situação de escassez hídrica.

Tendo em vista este cenário, surgiu, em 1999, como forma de ação efetiva, a Articulação no Semiárido Brasileiro (ASA), que tem como propósito o desenvolvimento de políticas públicas sustentáveis de convivência com o semiárido. A ASA investe na captação e no armazenamento adequado das águas de chuva como alternativa para adaptação às condições ambientais dessa região, tanto do ponto de vista produtivo quanto do econômico (ALVES, 2013). Empresas de saneamento responsáveis pelo abastecimento de água centralizado, através de grandes estruturas de captação, adução, tratamento e distribuição, não são capazes, na maioria das vezes, de abastecer regiões mais afastadas dos centros urbanos, seja em função de CAPEX ou OPEX, ou de quaisquer outros impeditivos. Para suprir essa demanda, a iniciativa civil, por meio da ASA, aposta

em cisternas como instrumento de armazenamento de água e de abastecimento descentralizado dessas regiões.

Em 2013, foi criado o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e outras Tecnologias Sociais de Acesso à Água (Programa Cisternas), através da Lei Federal nº 12.873 de 2013 (BRASIL, 2013), que regulamenta, em seu artigo 11, “a finalidade de promover o acesso à água para o consumo humano e animal e para a produção de alimentos, por meio de implementação de tecnologias sociais, destinado às famílias rurais de baixa renda atingidas pela seca ou falta regular de água”.

Nesse contexto, surge a tecnologia de cisternas de placas, representada na Figura 1. Composta por uma cisterna de placa de 16.000 litros (PIMC)[1], tubulação[2] e calha[3] (BORJA *et al.*, 2015; BRASIL, 2019), esse sistema possibilita a captação e estocagem da água de chuva e é o modelo mais presente na região semiárida. Posteriormente, como forma de acelerar a instalação de mais unidades, foi idealizada a instalação de cisternas em polietileno, porém houve resistência da população a essa alternativa, visto que afetava a contrapartida financeira de mão de obra direcionada à comunidade envolvida com a construção das cisternas de placa e incidia em fatores ambientais, como a alta insolação, que deforma o material plástico desse modelo proposto.

**Figura 1** – Cisterna de placa



Fonte: Borja *et al.* 2015.

O sistema de coleta e de aproveitamento de água de chuva é utilizado em muitas residências da região semiárida, que possuem área de cobertura entre 50m<sup>2</sup> e 100m<sup>2</sup>, cobertura em telha cerâmica colonial, com inclinação entre 18% e 25%, calhas em PVC ou metálicas em zinco, tubulação vertical e horizontal em PVC de diâmetro nominal DN-75mm e/ou 100mm. Muitas vezes, não há barreiras sanitárias que garantam melhorias em termos qualitativos das águas (ROSA *et al.*, 2003). A água de chuva – que geralmente apresenta contaminação, decorrente da limpeza das camadas da atmosfera e da superfície de captação, ou do armazenamento de forma não protegida (ANDRADE NETO, 2013) – apresenta excelente padrão, inclusive para consumo humano.

O modelo oficial de implantação do programa P1MC não apresenta dispositivo de retenção de sólidos, como ralo hemisférico e filtros de tela ou similares, assim como também não apresenta dispositivo para desvio das primeiras águas de chuva. Cerca de duas décadas após a inserção das cisternas como tecnologia social e instrumento de convivência com o

semiárido, dispositivos para melhorias são necessários, visando o melhor funcionamento do sistema de armazenamento de água de chuva, e, por conseguinte, a garantia de uma melhor qualidade dessas águas, conforme apontam estudos já estabelecidos.

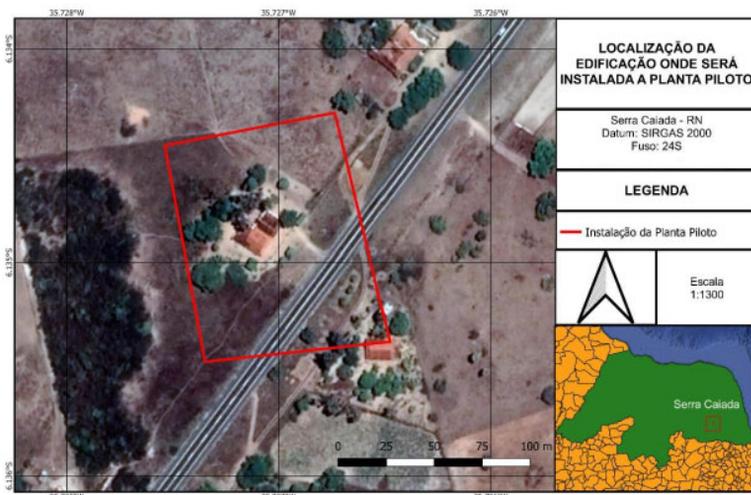
Nesse sentido, os objetivos deste capítulo consistem em desenvolver um dispositivo para desvio das primeiras águas de chuva, denominado por DESV-IFSPP, bem como avaliar seu funcionamento em relação a outros dispositivos utilizados para esse fim.

## Metodologia

### Área de estudo

O estudo foi realizado em uma edificação localizada na zona rural do município de Serra Caiada, no estado do Rio Grande do Norte (Figura 2). As coordenadas geográficas da edificação são 35,727°W e 6,135°S, estando localizada no semiárido nordestino. Conforme dados da EMPARN (2021), Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, a média histórica do referido município é de 580,20mm/ano.

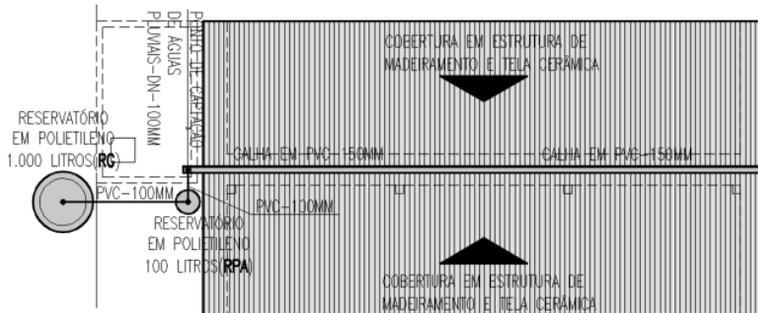
**Figura 2 – Localização da edificação - área piloto**



Fonte: autoria própria, 2021.

A edificação onde o sistema piloto foi implantado apresenta sistema de captação de águas pluviais compostos por cobertura com estrutura de madeiramento e telha cerâmica com área de superfície de 100m<sup>2</sup> (Figura 3). Nela, as águas pluviais seguem por escoamento superficial até calha em PVC DN-150mm, encaminhando-se, por tubo PVC DN-100mm, para cisterna em alvenaria (retângulo tracejado indicado na Figura 3).

**Figura 3** – Ampliação - Situação instalação de sistema piloto



Fonte: autoria própria, 2021.

## Concepção do dispositivo

O DESV-IFSPP (Figura 8) utiliza conexões simples e acessíveis, sendo capaz de gerar uma barreira física (Figuras 5, 6 e 7) entre o primeiro milímetro de água de chuva desviada e o volume excedente a ser conduzido para o RG. A válvula de retenção em PVC DN-100mm (Figura 4) apresenta um dispositivo interno tipo borboleta basculante (Figuras 5, 6 e 7), instalado inicialmente em posição vertical, que permite o fluxo apenas em uma direção, conforme verifica-se na Figura 6 (com sentido de fluxo representado por seta na cor preta). A pressão da água captada é conduzida inicialmente para o RPA. Após seu enchimento, o nível da água segue até o dispositivo interno tipo borboleta basculante, pressionando-o em sentido oposto, conforme Figura 7 (fluxo reverso), modificando sua posição de vertical para horizontal e gerando compartimentação entre as águas da primeira chuva acondicionadas no RPA. O volume geral excedente segue para acondicionamento no RG, conforme representa a Figura 7 (com sentido de fluxo indicado por seta na cor vermelha).

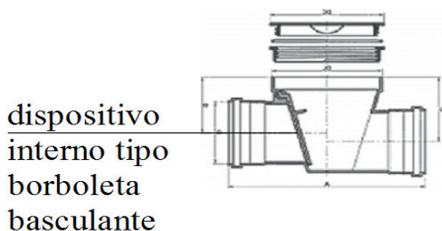
Inicialmente, foram realizados testes de bancada (Figuras 6 e 7), para verificação de fluxo das águas pluviais no sentido inicial das primeiras águas de chuva e para análise do comportamento do dispositivo interno tipo borboleta basculante no fluxo reverso, após ocupação do volume de armazenamento das primeiras águas de chuva no reservatório RPA, que cria uma barreira sanitária entre as águas do RPA e RG e garante a estanqueidade do sistema após a triagem do primeiro milímetro de chuva.

**Figura 4** – Válvula de retenção–PVC-100mm



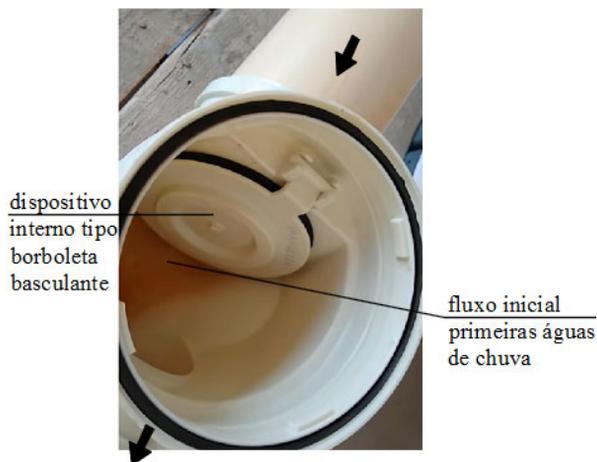
Fonte: Tigre, 2010.

**Figura 5** – Dispositivo interno tipo borboleta basculante–corte desenho técnico



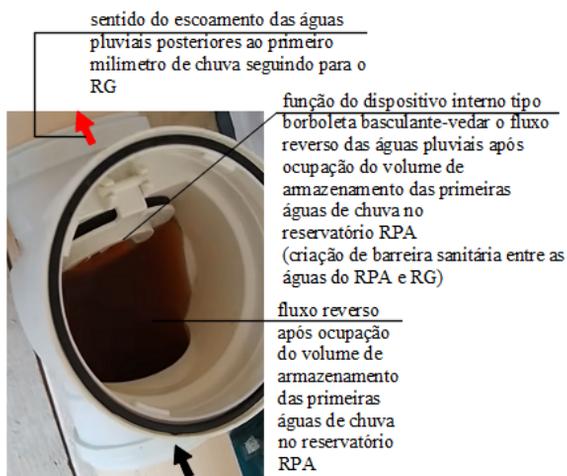
Fonte: Tigre, 2010.

**Figura 6** – Teste de bancada do dispositivo interno tipo borboleta basculante - situação inicial



Fonte: autoria própria, 2021.

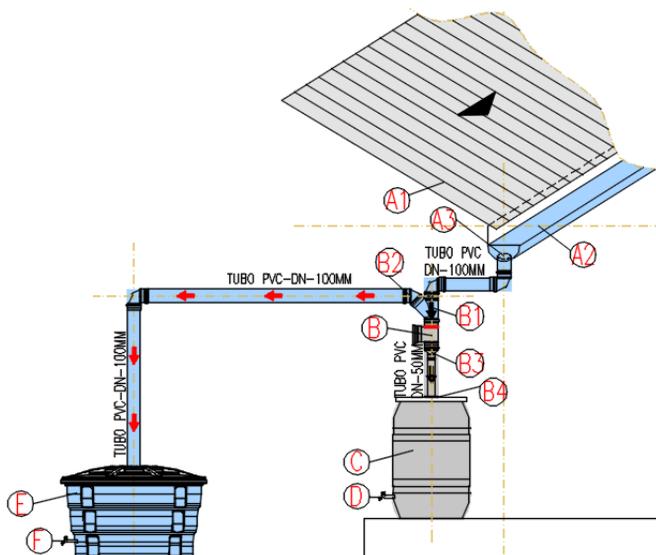
**Figura 7** – Teste de bancada do dispositivo interno tipo borboleta basculante - situação final



Fonte: autoria própria, 2021.

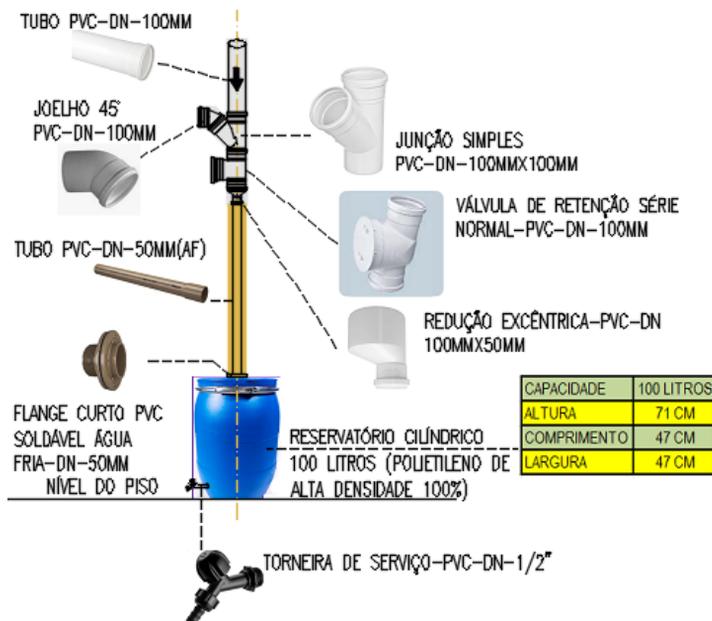
Na instalação do DESV-IFSP (Figuras 3, 8, 9, 10, 11, 12 e 13), foi derivada tubulação de PVC DN-100mm, com junção 45° de derivação, seguida de válvula de retenção PVC DN-100mm até o reservatório, para armazenamento das primeiras águas (RPA), conforme Figura 8. Após a junção 45° e Joelho 45°, a derivação da tubulação PVC DN-100mm segue para o reservatório geral (RG) (Figuras 8, 10, 11, 12 e 13).

**Figura 8** – Dispositivo para desvio das primeiras águas de chuva – protótipo DESV-IFSP instalado – situação primeiro milímetro de chuva. Leia-se: (A1) cobertura existente; (A2) calha plástica existente DN-150mm; (A3) ponto de condução das águas pluviais DN-100mm; (B) válvula de retenção PVC DN-100mm; (B1) junção simples PVC DN-100mm; (B2) joelho 45° PVC DN-100mm; (B3) redução excêntrica PVC DN-100mmx50mm; (B4) flange curto PVC soldável DN-50mm; (C) reservatório plástico 100 L (reservatório de descarte do primeiro milímetro de chuva - RPA); (D) torneira de serviço ½" (ponto para coleta - RPA); (E) reservatório geral – RG em polietileno (1.000 L); (F) torneira de serviço ½" (ponto para coleta - RG)



Fonte: autoria própria, 2021.

**Figura 9** – Núcleo do Dispositivo para desvio das primeiras águas de chuva – protótipo DESV-IFSP



Fonte: autoria própria, 2021.

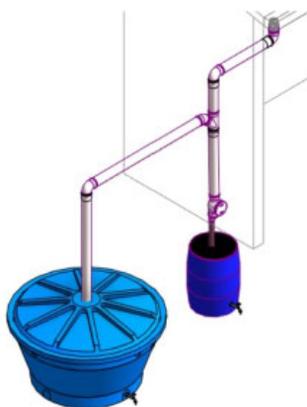
Entre o projeto e a execução, houve adaptações no nível da estrutura da cisterna existente e no desnível do terreno, sublocando o RPA mais próximo ao ponto da calha, em cota de terreno maior, e o RG em cota inferior (Figuras 14 e 15). Houve também a redução de diâmetro de 100mm para 50mm no RPA como forma da instalação de flange curto DN-50mm (Figura 11), de maneira a garantir a estanqueidade do dispositivo.

**Figura 10 – Projeto-sistema piloto**



Fonte: autoria própria, 2021.

**Figura 11 – Projeto-sistema piloto**



Fonte: autoria própria, 2021.

**Figura 12 – Sistema piloto executado**



Fonte: autoria própria, 2021.

**Figura 13 – Sistema piloto executado**



Fonte: autoria própria, 2021.

O sistema piloto foi elaborado com a indicação de instalação de dispositivo de triagem e de descarte do primeiro milímetro de chuva (RPA). Com isso, objetivava-se a “limpeza” dos dispositivos de captação de águas pluviais, em prol de melho-

ria da qualidade dessas águas após a triagem do primeiro milímetro, que segue para armazenamento no reservatório geral em polietileno de 1.000 litros (RG) e para posterior aproveitamento (cf. Figuras 3, 8, 10, 11, 12 e 13). Na revisão de literatura, pode-se constatar que a maioria das casas unifamiliares em que foram implantadas as cisternas do programa P1MC apresentavam área de cobertura entre 75,00m<sup>2</sup> a 100,00m<sup>2</sup>. Logo, como forma de padronização do RPA, adotou-se reservatório de volume de 100 litros, perfazendo, em geral, a triagem do primeiro milímetro de chuva.

Durante a instalação e o início do funcionamento do sistema, foram feitas análises empíricas para averiguação de funcionamento do DESV-IFSPP (Figuras 3, 8, 12 e 13) em dois eventos de precipitação pluviométrica que garantissem volume suficiente para o preenchimento do RPA e RG. Foram analisados possíveis vazamentos, extravasamentos e quaisquer problemas inerentes ao seu funcionamento.

## Obtenção e tratamento de dados

Os experimentos foram realizados durante o período chuvoso da região, entre os meses de março e abril de 2021. As três coletas ocorreram em eventos pluviométricos que garantissem um volume de água suficiente para encher os dois reservatórios (RPA e RG) que, neste caso, foram nos dias 25/03/2021, 29/03/2021 e 05/04/2021. Segundo a EMPARN (2021), na estação pluviométrica Aeroporto, foram registradas precipitações para essas datas da ordem de 29,9mm/dia, 2,0mm/dia e 12,9mm/dia, respectivamente. Foram analisados os parâmetros apresentados na Tabela 1, conforme Apha *et al.*

(2017), nas amostras coletadas no dispositivo de triagem e descarte do primeiro milímetro de chuva (RPA) e no reservatório geral (RG). Essas amostras foram conduzidas ao Núcleo de Análises de Águas Alimentos e Efluentes (NAAE) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Natal Central.

**Tabela 1** – Parâmetros, métodos e técnicas aplicadas, conforme

<b>Parâmetros / Unidade</b>	<b>Método de análise</b>	<b>Técnica utilizada</b>
pH	Eletrométrico, com uso do pHmetro.	4500 – H <sup>+</sup> B
Temperatura (°C)	Termômetro	APHA-2550
Cor verdadeira (Mg/L Pt-Co/L)	Nefelométrico	APHA-2120A, B e C
Cor aparente (Mg/L Pt-Co/L)	Nefelométrico	APHA-2120A, B e C
Condutividade elétrica (µS/cm)	Com uso do condutivímetro	APHA-2510 A,B
Turbidez (NTU)	Nefelométrico	APHA-2130 A,B
Sólidos totais dissolvidos (STD) (mg/L)	Gravimetria	APHA-2540 A,C,E
Alcalinidade total (Mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Titulométrico	APHA-2320
Dureza total (Mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Titulométrico	APHA-2340 A,C
Oxigênio dissolvido (OD) (Mg/L O <sub>2</sub> )	Colorimétrico	APHA-4500-O A,C
Coliformes totais (UFC/100 mL)	Membrana filtrante	APHA-9121 B,C;9223
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	Tubos múltiplos	APHA-9121 B,C;9223

Fonte: APHA (2017).

Após as três coletas realizadas, nos dois pontos indicados, RPA e RG, e emissão dos resultados expedidos pelo NAAE, foi elaborada a estatística descritiva com índices de média mínimo, máximo, eficiência média expedida em valores percentuais e desvio padrão.

## Resultados e discussão

### QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA NO RPA E NO RG

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos durante a pesquisa e comparados com os índices estabelecidos para padrões de potabilidade da água, prescritos pela Portaria GM/MS N° 888/2021.

**Tabela 2** – Resultados dos parâmetros estabelecidos, mínimo, máximo, média, eficiência média e desvio padrão do dispositivo de desvio de primeiras águas e no reservatório geral

Parâmetro/ Unidade	Portaria GM/ MS N° 888/2021	Média (Mínimo-Máximo)		Eficiência média média (%)	Desvio padrão	
		RPA	RG		RPA	RG
pH	6 a 9	6,9 (6,8-7,0)	7,37 (7,2-7,6)	-	0,10	0,21
Temperatura (°C)		24,17 (23,20-25,50)	25,17 (24,80-25,80)	-	1,19	0,55
Cor verdadeira (Mg/L Pt-Co/L)	ND	13,33 (12,80-14,10)	11,30 (10,00-13,10)	15,25	0,68	1,61

Cor aparente (Mg/L Pt-Co/L)	15	20,67 (18,00-25,10)	14,70 (13,00-17,10)	28,87	3,87	2,14
Condutividade elétrica (μS/cm)	ND	107,27 (42,60-206,80)	83,26 (24,67-185,10)	22,38	87,48	88,53
Turbidez (NTU)	5	3,17 (2,39-3,92)	2,30 (1,39-3,06)	27,44	0,77	0,85
Sólidos totais dissolvidos (STD) (mg/L)	500	71,87 (28,54-138,56)	55,78 (16,53-124,02)	22,38	58,61	59,32
Alcalinidade total (Mg/L CaCO <sub>3</sub> )	ND	20,91 (5,88-35,28)	18,95 (5,88-33,32)	9,38	14,71	13,77
Dureza total (Mg/L CaCO <sub>3</sub> )	300	25,40 (5,15-46,55)	21,32 (4,90-41,16)	16,08	20,71	18,37
Oxigênio dissolvido (OD) (Mg/L O <sub>2</sub> )	ND	5,45 (3,76-7,61)	6,87 (5,08-8,12)	-	1,97	1,59
Coliformes totais (UFC/100 mL)	ausência em 100mL	12.466 (5.400-16.000)	6.033 (3.500-9.200)	51,60	6.119,91	2.902,30
<i>E. Coli</i> (NMP/100 mL)	ausência em 100mL	1.830 (450-4.000)	763,33 (240-1.140)	58,29	1.902,29	467,58

RPA=reservatório de desvio das primeiras águas; RG=reservatório geral; UND=Undinidade; ND=Não determinado.

Fonte: autoria própria, 2021.

Os resultados em RPA e RG (Tabela 2) apresentaram concentrações de coliformes totais e *E. coli*, sendo necessária a implantação de processos como filtração, seguidos de desinfecção simplificada para a água do RG, caso ela venha a ser utilizada para consumo humano. As características da água do RPA e do RG viabilizam aplicação irrestrita para rega de jardins, irrigação de plantações, lavagem de carros, limpeza de pisos e descargas em bacias sanitárias (ZANELA, 2015). Nas coletas 2 e 3, com relação aos coliformes totais, obteve-se redução de uma casa logarítmica (de  $10^4$  para  $10^3$ ) entre os RPA e o RG. A presença dos dois parâmetros microbiológicos em questão trata-se de condições externas ao próprio sistema, como fezes de animais, folhagens, estrutura da cobertura, intensidade do vento e precipitação (ou falta dela), em geral. Houve, porém, em todas as coletas, redução significativa das concentrações entre os dispositivos RPA e RG. A eficiência de remoção no RPA para o RG para coliformes totais foi de 51,60%, e *E. coli* de 58,29%. Pode-se considerar que quanto menor a concentração, maior será o trabalho para remoção da maioria dos parâmetros de qualquer efluente analisado. Logo, de acordo com revisão de literatura e de resultados de outros trabalhos correlatos, a inserção, na calha, de tela ou ralo hemisférico, capazes de mitigar a passagem de matéria sólida que porventura sejam encaminhadas no escoamento superficial das águas pluviais da cobertura ao reservatório geral, pode ser apontada como fator de maximização de remoção destes parâmetros.

Com relação aos parâmetros pH condutividade elétrica, cor verdadeira, cor aparente, turbidez, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade total e dureza total, em todas as coletas, constatou-se redução entre os dispositivos RPA e RG. O parâ-

metro cor aparente no RG apresentou resultados menores do que se preconiza na Portaria GM/MS N° 888/2021 em duas das três coletas. Já pH, turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e dureza total, no RG, apresentaram resultados menores ou dentro do intervalo de referência que determina a portaria, isto é, estão dentro dos padrões de potabilidade. O Oxigênio Dissolvido (OD), em todas as coletas, apresentou aumento entre os dispositivos RPA e RG. No caso do OD, o aumento entre o RPA e RG é um fator positivo, pois tal crescimento é um indicativo da diminuição de matéria orgânica na água.

A Portaria GM/MS N° 888/2021 preconiza o padrão de potabilidade para pH no intervalo entre 6 e 9. Nas análises efetuadas, a média no RPA é de 6,9 e de 7,37 no RG, estando, portanto, dentro do padrão de potabilidade para pH.

A cor verdadeira expressa a ausência de partículas em suspensão, sendo analisada após a filtração por membrana. Os resultados obtidos apresentaram média de 11,30 (Mg/L Pt-Co/L) no RG e eficiência de remoção de 15,25%. Já a cor aparente, que sofre influência de partículas coloidais, de sólidos em suspensão ou dissolvidos, possui limite de 15 (Mg/L Pt-Co/L), estabelecido pela Portaria GM/MS N° 888/2021, e apresentou média de 14,70 (Mg/L Pt-Co/L) no RG e eficiência de remoção de 28,87%.

Em relação à turbidez, que está relacionada aos sólidos em suspensão, a eficiência média foi de 27,44%, com média de 2,30 NTU no RG, abaixo do valor de 5 NTU estabelecido na portaria de potabilidade.

Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) referem-se à soma dos constituintes químicos dissolvidos na água e medem a concentração de substâncias iônicas, que possuem limite es-

tabelecido pela Portaria GM/MS Nº 888/2021 de 500 mg/L. A água do RG apresentou valor médio de 55,78 mg/L e eficiência do sistema de 22,38%. Esse resultado valida a correlação estabelecida com a redução dos valores obtidos nos parâmetros cor verdadeira e cor aparente.

Para os parâmetros químicos, partindo da alcalinidade total – que designa a capacidade da água em neutralizar ácidos, podendo proporcioná-la sabor desagradável –, as amostras apresentaram média de 18,95 mg/L CaCO<sub>3</sub> e eficiência de remoção no sistema de 9,38%.

A dureza total denota presença, principalmente, de sais alcalinos terrosos (cálcio e magnésio) ou de outros metais bivalentes, que, em menor intensidade, causam sabor desagradável e, em teores elevados, efeitos laxativos, além de reduzir a formação da espuma do sabão, aumentando o seu consumo e provocando também incrustações nas tubulações. Esse parâmetro apresentou o limite estabelecido pela Portaria GM/MS Nº 888/2021 de 300 mg/L CaCO<sub>3</sub>, com média de 21,32mg/L CaCO<sub>3</sub> no RG, enquadrada como branda pela literatura ( $15 < \text{dureza}[\text{mg/L CaCO}_3] < 50$ ), e eficiência média de 16,08% no sistema.

O Oxigênio Dissolvido (OD) está relacionado com a presença de matéria orgânica e com a intensidade de chuva, uma vez que, quanto maior a intensidade de chuva, maior a velocidade com que a água entra na cisterna, aumentando, assim, a movimentação das partículas no seu interior (SILVA, 2017). Nas análises efetuadas, o OD da água armazenada no RG apresenta média de 6,87 (mg/L O<sub>2</sub>) e aumento do valor entre o RPA e o RG, tendo em vista o propósito da diminuição de car-

reamento de matéria orgânica com a retenção das primeiras águas de chuva.

Logo, foi possível observar que todos os parâmetros avaliados indicam melhorias na qualidade das águas após a separação do primeiro milímetro de chuva no DESV-IFSPP (RPA), em relação às águas armazenadas no reservatório geral (RG).

#### COMPARAÇÃO ENTRE DESV-IFSPP E OUTROS DISPOSITIVOS PARA DESVIO DAS PRIMEIRAS ÁGUAS

Analisando a eficiência média de operação de dispositivos para desvio das primeiras águas de chuva (Tabela 3), observa-se que a comparação direta dos resultados quali-quantitativos da água deve levar em consideração as diferentes condições de estudos<sup>7</sup>.

---

7 A saber: localização geográfica, condição de clima, temperatura, umidade do ar, radiação solar, vento, composição atmosférica, precipitação, qualidade específica da superfície da cobertura, calhas, tubulações, tipo e condição física do reservatório de triagem das primeiras águas de chuva e do reservatório de armazenamento geral.

**Tabela 3** – Comparação das eficiências entre o dispositivo DESV-IFSP com outros dispositivos de desvio de primeiras águas

Parâmetro/ Unidade	Experimento com água de chuva				Experimento com contaminação artificial e/ou água proveniente da concessionária local			
	DESV-IFSPP (%)	Annechini (2005) (%)	Gonçalves et al. (2006) (%)	Dalsasso e Guedes (2017) (%)	Lima et al. (2012) (%)	Araújo (2017) (%)	Silva (2017) (%)	Silva et al. (2019) (%)
pH	7,37	7,3	7,57	7,54	8,50	7,45	7,72	**
Temperatura (°C)	*	*	*	*	*	*	*	*
Cor verdadeira (Mg/LPt-Co/L)	15,25	69,44	**	58,82	**	75,53	6,25	69,44
Cor aparente (Mg/LPt-Co/L)	28,87	**	**	55,26	95,71	65,13	44,78	**
Condutividade elétrica (µS/cm)	22,38	68,97	**	**	-699,41 ***	**	-483,70 ***	68,97
Turbidez (NTU)	27,44	86,84	44,30	62,60	87,18	94,25	94,86	93,42
Sólidos Totais Dissolvidos (STD) (mg/L)	22,38	6,67	40,35	**	**	16,53	55,70	6,67

Alcalinidade total (Mg/L CaCO <sub>3</sub> )	9,38	**	26,07	44,90	-565,52 ***	-102,96*	-454,78 ***	**
Dureza total Mg/L CaCO <sub>3</sub> )	16,08	78,85	30,98	58,73	**	16,79	37,44	78,85
Oxigênio Dissolvido (OD) (Mg/L O <sub>2</sub> )	20,72	-10,26 ***	**	**	**	**	**	10,26
Coliformes totais (NMP/100 mL ou UFC/100mL)	51,60	60,00	46,81	16,33	76,97	90,77	95,24	60
E. Coli (NMP/100 mL)	58,29	**	70,84	79,80	**	98,47	93,33	**

Observação: (\*) parâmetro dependente da situação geográfica do estudo; (\*\*) parâmetro não indicado no estudo correspondente; (\*\*\*) O valor negativo (-) exposto nos resultados dos parâmetros de eficiência da tabela acima indica acréscimo do referido parâmetro entre o dispositivo de desvio de primeiras águas para o reservatório geral, decorrente de efeito na reação entre as características físico-químicas da água com o material das cisternas.

Fonte: autoria própria, 2021.

Os trabalhos de Annechini (2005), Gonçalves *et al.* (2006) e Dalsasso e Guedes (2017), assim como o presente trabalho, utilizaram-se de amostras de precipitação de chuva. Ressalta-se que os trabalhos de Annechini (2005) e Dalsasso e Guedes (2017), além da utilização, em seu piloto, do dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva, utilizaram também dispositivo complementar para remoção de sólidos junto ao me-

didor de vazão em tela de nylon, com malha 40/100 e fio 0,10, e tela de poliéster, com malha 48 fios/cm<sup>2</sup> respectivamente, surtindo um efeito positivo maior na eficiência de remoção de alguns parâmetros.

Já Lima *et al.* (2012), Araújo (2017), Silva (2017) e Silva *et al.* (2019) utilizaram o processo de contaminação prévia da cobertura com lodo de esgoto doméstico, de modo a testar o desempenho dos dispositivos em um cenário extremo de contaminação com aspersão de água, tendo Silva *et al.* (2019) realizado a aspersão com água da concessionária local.

Identificou-se que o DESV-IFSPP, em relação ao dispositivo proposto por Annechini (2005), teve menor eficiência em relação a cor verdadeira, condutividade elétrica, turbidez e dureza total, devido ao dispositivo de remoção de sólidos tipo tela supracitado. Comparando-se o DESV-IFSPP com o dispositivo proposto por Dalsasso e Guedes (2017), também se verifica menor eficiência frente a parâmetros como cor verdadeira, cor aparente, turbidez, alcalinidade total e dureza total. Logo, vê-se que, nesses dois estudos, além da proposição do dispositivo para desvio das primeiras águas de chuva, têm-se a proposição de dispositivo para remoção de sólidos anterior ao RPA, que contribui com a melhoria da qualidade das águas armazenadas no RG.

Como forma de comparação direta em trabalhos sem a utilização de dispositivos prévios tipo ralo hemisférico ou telas, como o de Gonçalves *et al.* (2006) e este trabalho proposto do DESV-IFSPP (2021), constatam-se eficiências equivalentes no tocante à observação de eficiência média de remoção em parâmetros de coliformes totais, com 51,60% e 46,81% respectivamente, e de *E. Coli*, com 58,29% e 70,84%, respectivamente.

De forma geral, todos os parâmetros analisados no DES-V-IFSP apresentaram eficiência média positiva em sua remoção. Abaixo, o Quadro 1 apresenta síntese de levantamento cronológico de estudos com proposição de aplicação de dispositivos para desvio das primeiras águas de chuva em um intervalo temporal.

**Quadro 1** – Estudos de aplicação de dispositivos para desvio das primeiras águas de chuva em um intervalo temporal

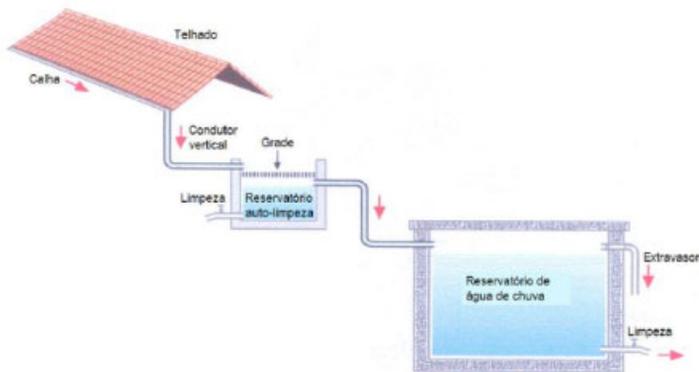
<b>Autor(es)</b>	<b>Ano de publicação</b>	<b>Descrição de apresentação de montagem aplicada</b>
Dacach	1979	A interligação do tubo proveniente da(s) calha(s) passando por caixa denominada reservatório de auto-limpeza dotada de grade para retenção de sólidos suspensos como folhas, resíduos de matéria orgânica em geral. (Figura 14)
Dacach	1981	O autor apresentou um aprimoramento com bola flutuante como dispositivo de retenção das primeiras águas de chuva em relação as águas pluviais excedentes. (Figura 15)
Andrade Neto	2004	Apresenta um RPA (Figura 16) composto por uma caixa em alvenaria ou placas cimentícias com volume de 100 litros anterior a cisterna, sem compartimentação.
Texas Water Development Board (TWDB)	2005	Apresenta dois modelos de RPA, basicamente um reservatório cilíndrico sem compartimentação e o outro com compartimentação através de câmara intermediária e esfera flutuante, conforme Figuras 17 e 18, respectivamente.

Annechchini	2005	Apresenta um RPA e filtros tipo tela para remoção dos materiais grosseiros, porém, sem compartimentação (Figura 19).
Gonçalves <i>et al.</i>	2006	Apresenta sistema similar ao de Annechchini, 2005.
Rodrigues <i>et al.</i>	2007	Vê-se uma derivação do estudo de Andrade Neto (2004) (Figura 16), onde o primeiro substitui a caixa de alvenaria por um tambor plástico com rearranjo de níveis das tubulações em PVC (Figura 20).
Jabur <i>et al.</i>	2011	Vê-se uma derivação do estudo de Andrade Neto (2004) (Figura 16), substitui a caixa em alvenaria por um tubo complementar do condutor vertical configurando o armazenamento das primeiras águas de chuva (Figura 21) sem compartimentação.
Lima	2012	Utiliza RPA com interligação entre tubos verticais para compor volume de armazenamento e posterior encaminhamento da tubulação ao RG (Figuras 22 e 23).
Silva	2017	Idem Lima, 2012 (Figuras 22 e 23).
Araújo	2017	Idem Lima, 2012 (Figuras 22 e 23).

Dalsasso e Guedes	2017	Utilizam triagem com compartimentação através de garrafa plástica flutuante interrompendo o fluxo descendente e conduzindo o volume residual ao RG (Figura 24), isto já fruto de derivação do estudo de Dacach (1981) (Figura 15). Nos estudos de Lima (2012), Silva (2017) e Araújo (2017), foi-se apresentado variações de modelos existentes de RPA, com base no modelo de Dacach, 1981 (Figura 15) e modelo TWDB, 2005 (Figuras 17 e 18), para criação do modelo denominado "DESVIU-FPE" (Figuras 22 e 23).
Silva <i>et al.</i>	2019	Idem Lima, 2012 (Figuras 22 e 23).

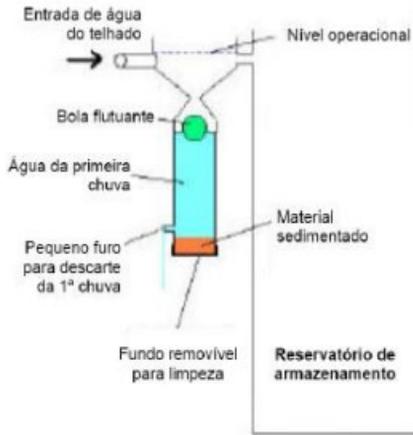
Fonte: autoria própria, 2021.

**Figura 14 – RPA**



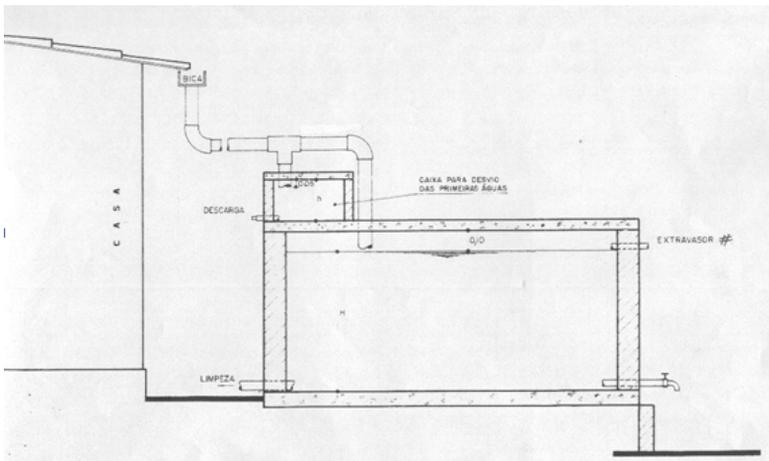
Fonte: Dacach, 1979.

**Figura 15 – RPA**



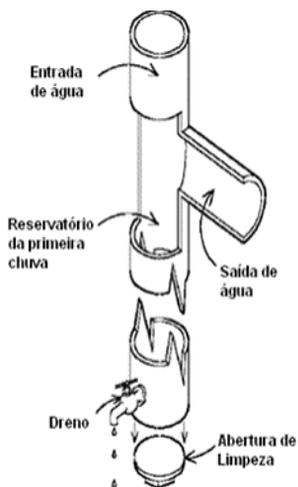
Fonte: Dacach, 1981.

**Figura 16– RPA**



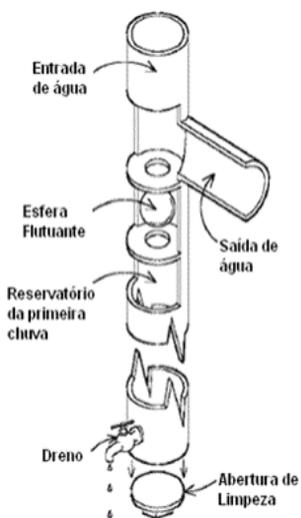
Fonte: Andrade Neto, 2004.

**Figura 17 – RPA**



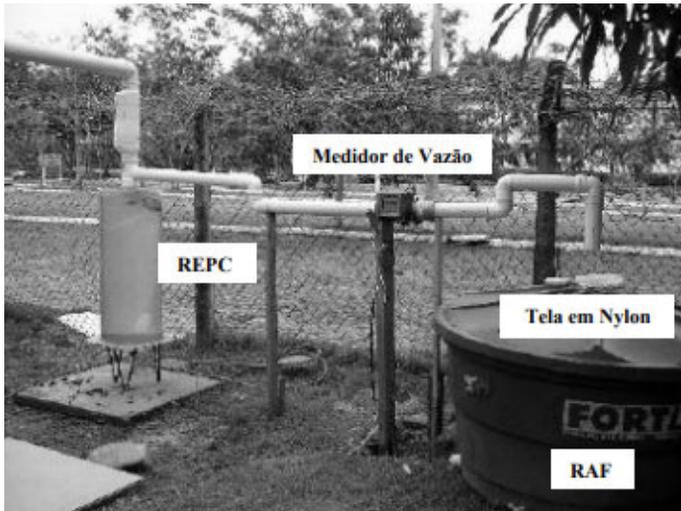
Fonte: TWDB, 2005.

**Figura 18 – RPA**



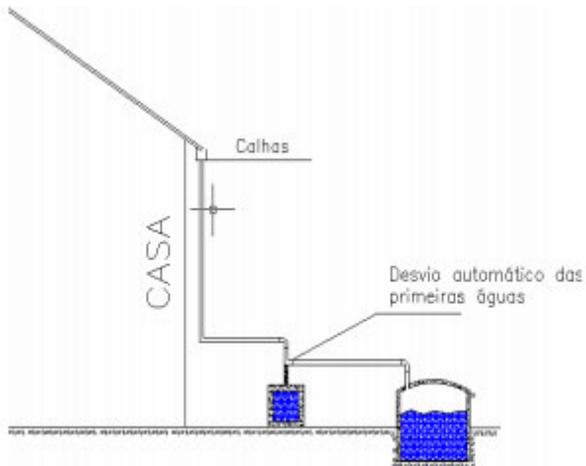
Fonte: TWDB, 2005.

**Figura 19 – RPA**



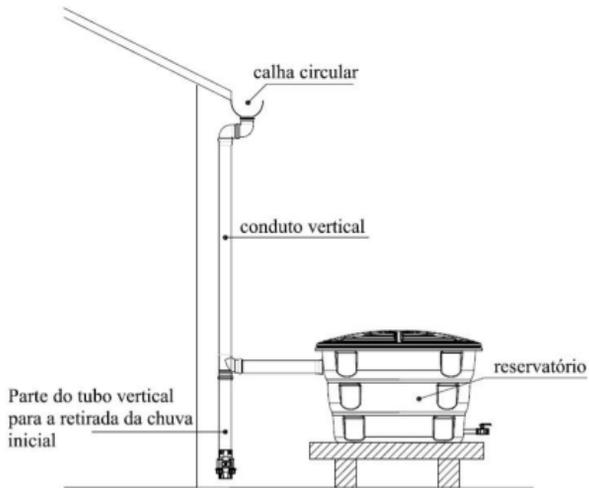
Fonte: Anecchini, 2005.

**Figura 20– RPA**



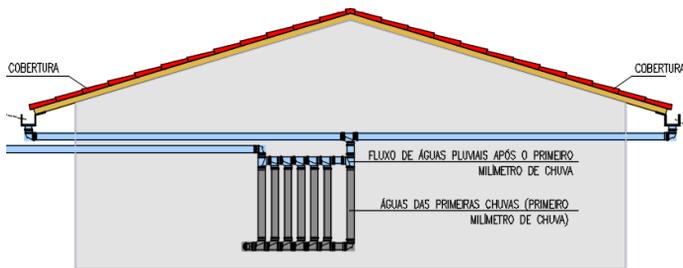
Fonte: Rodrigues *et al.* 2007.

**Figura 21 – RPA**



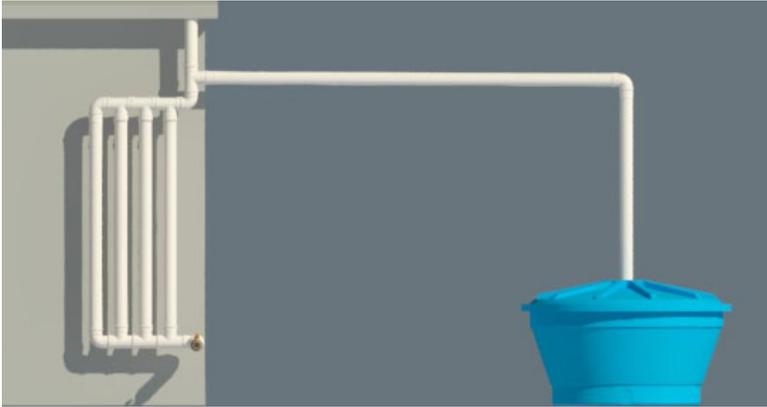
Fonte: Jabur *et al.* 2011.

**Figura 22 – DESVUIFPE**



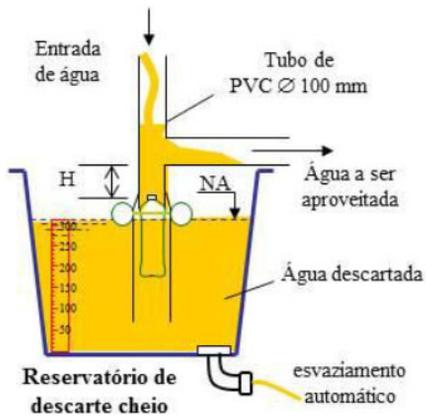
Fonte: Autoria própria – adaptação de Lima, 2012; Silva, 2017; Araújo, 2017; Silva *et al.* 2019.

**Figura 23 – DESVIUFPE**



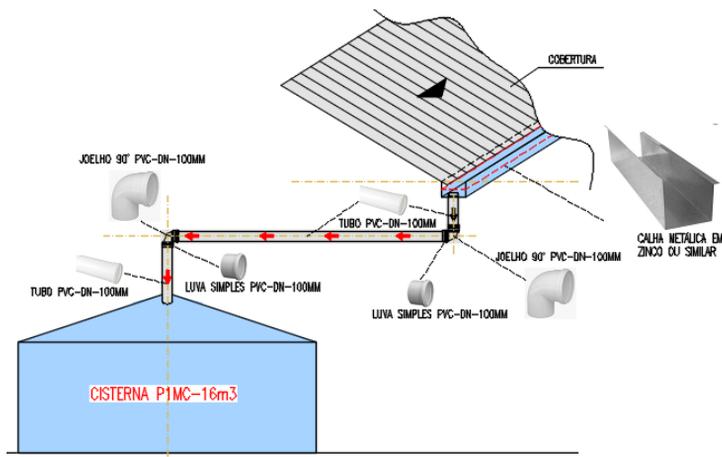
Fonte: Autoria própria – adaptação de Lima, 2012; Silva, 2017; Araújo, 2017; Silva et al. 2019.

**Figura 24 – RPA**



Fonte: Dalsasso e Guedes, 2017.

Figura 25 – Captação e armazenamento de água sem o DESV-IFSPP

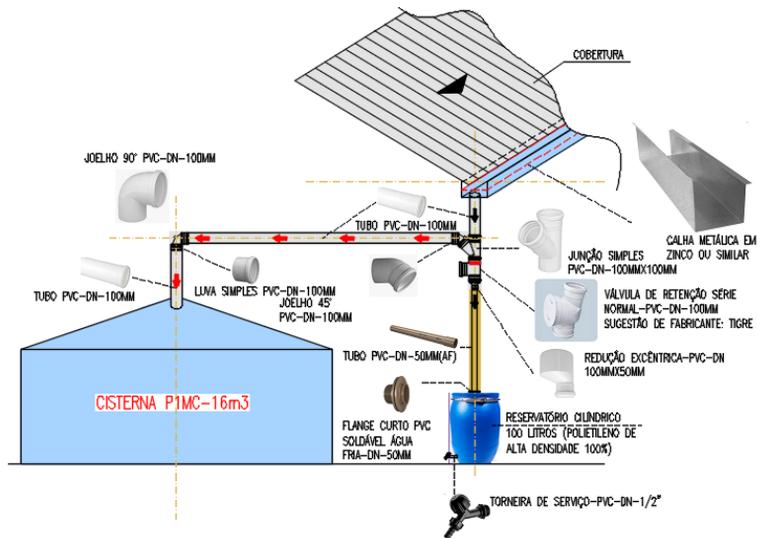


Fonte: Autoria própria, 2021, Adaptação ASA, 2020.

Em termos de análise comparativa entre os dispositivos para desvio de primeiras águas de chuva e o DESV-IFSPP (Figura 8 e 26), focalizando os dispositivos de desvio das primeiras águas de chuva citados, constata-se que todos apresentam alguns pontos em comum, como a triagem e a reserva das primeiras águas de chuva, especificamente do primeiro milímetro. Para situação de aproveitamento de águas de chuva em zona rural, o dispositivo já perfaz volume necessário para carrear as impurezas da superfície de captação, no caso, telhado e calha(s), podendo-se utilizar esse primeiro milímetro principalmente para irrigação. As águas de volume residual, após o primeiro milímetro de chuva, já apresentam padrões físicos e químicos dentro do que preconiza a Portaria GM/MS N° 888/2021 (Tabela 2). Outro ponto comum aos dispositivos de RPA é a suposta criação de uma barreira sanitária entre as

primeiras águas de chuva e o volume residual, ou seja, a compartimentação entre essas águas.

**Figura 26** – Captação e armazenamento de água com DESV-IFSPF



Fonte: autoria própria, 2021.

O sistema proposto é flexível no tocante à instalação em sistemas de aproveitamento de águas de chuva já existentes. Ao desconectar-se da calha do sistema existente (Figuras 25 e 26), interliga-se ao núcleo proposto na Figura 9, conectando ao RPA, anterior ao ramal de chegada, na cisterna existente. Em termos de custos, foi traçado o comparativo entre o DESVIUFPE, modelo já consolidado como proposta de desvio das primeiras águas de chuva, e o DESV-IFSPF, com custos vigentes. O primeiro dispositivo foi cotado em R\$ 441,87 e o segundo em R\$ 274,32, apresentando uma diferença economi-

ca entre os dois protótipos de 62,08%. Por fim, o dispositivo DESV-IFSPP apresenta instalação simplificada, menor quantidade de pontos frágeis para vazamentos, menor necessidade de manutenções periódicas constantes e menor custo, decorrente do número reduzido de peças e de conexões.

## Conclusão

O DESV-IFSPP apresentou níveis de eficiência significativos para os parâmetros físico-químicos, dentro dos limites preconizados pela Portaria GM/MS Nº 888/2021. Porém, é relevante destacar a necessidade de aprofundamento em relação aos parâmetros biológicos (coliformes totais e E. Coli), visando mitigar a contaminação na superfície de captação, desafio semelhante ao enfrentado por outros dispositivos RPA. O dispositivo proposto, DESV-IFSPP, apresentou eficiência média para coliformes totais e E. Coli de 51,60% e 58,29% respectivamente. Pode-se considerar que quanto menor a concentração, maior será o trabalho para remoção da maioria dos parâmetros de qualquer efluente analisado. Nesse âmbito, a partir de revisão de literatura e de resultados de outros trabalhos correlatos, verifica-se que a inserção de dispositivos de tela ou ralo hemisférico na calha de captação de águas pluviais – capazes de mitigar a passagem de matéria sólida, que, porventura, sejam encaminhadas no escoamento superficial das águas pluviais da cobertura ao reservatório geral – é fator de maximização de remoção destes parâmetros, acarretando um aumento significativo na melhoria das águas a serem armazenadas nas cisternas.

Para uso potável, a qualidade microbiológica da água possui restrições, mas processos de filtração e de desinfecção simplificada podem auxiliar no alcance dos padrões de potabilidade.

De uma maneira geral, o dispositivo desenvolvido possui características importantes que o diferencia de outros dispositivos existentes no mercado, como a separação do primeiro milímetro de chuva; instalação menos complexa, com menos pontos frágeis para vazamentos, evitando manutenções periódicas constantes, e menor custo envolvido, pelo número reduzido de peças e de conexões. Tal simplicidade possibilita o seu envio a comunidades por meio de *kits* a serem montados pelos próprios moradores, o que demonstra flexibilidade e adaptação, em comparação aos sistemas já existentes. Apresenta custo unitário vigente de R\$ 274,32, com a possibilidade de mitigação dos custos, caso seja montado para um número maior de casas.

Por fim, vê-se que apesar de mais de duas décadas de implantação do programa de políticas públicas de cisternas PIMC e de vários estudos ressaltando a maximização da qualidade das águas de chuva armazenadas em sistemas que apresentam dispositivo para desvio das primeiras águas de chuva, ainda não se foi outorgada uma ou mais soluções oficiais desse tipo de dispositivo. Nesse contexto, o DESV-IFSP se estabelece como uma estratégia de baixo custo, de fácil instalação, manutenção e de operação a ser utilizada para preenchimento dessa lacuna.

## Referências

ALVES, Amanda Pereira Convivência com o Semiárido Brasileiro. (p. 35–37) *In*: CONTI, Irio Luiz; SCHROEDER, Edni Oscar. **Estratégias de Convivência com o Semiárido Brasileiro**. Brasília: Editora IABS, 2013.

ANA – Agência Nacional de Águas. **A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil / The Evolution of Water Resources Management in Brazil**. Brasília: ANA, 2018.

ANDRADE NETO, Cícero Onofre. Proteção sanitária das cisternas rurais. *In*: **Anais do Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, nº 11, 2004, Natal. Anais. Natal: ABES/APESB/APRH, 2004.

ANDRADE NETO, Cícero Onofre. Aproveitamento Imediato da Água de Chuva. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 1, n. 1, p. 73-86, 2013.

ANNECCHINI, Karla Ponzio Vaccari. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória/ES**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo - Centro Tecnológico - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Vitória, 2005.

ARAÚJO, Luttemberg Ferreira de. **DESVIUFPE como barreira sanitária para melhoria da qualidade de água de chuva em zona rural**: determinação de deposição seca e melhoria

de desempenho. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2017.

ASA. Articulação com o Semiárido. **Programa 1 milhão de cisternas**: Resultados. Disponível em: [www.asabrasil.org.br/portal/informacoes](http://www.asabrasil.org.br/portal/informacoes). Acesso em: 15 dez. 2020.

APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23.ed. Washington: American Public Health Association, 2017

BORJA, Patrícia Campos *et al.* Uso e funcionamento de cisternas e direito à água: um estudo em municípios do semiárido baiano. *In: Anais da XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento*. nº 19, 2015, Poços de Caldas – MG. Anais. Poços de Caldas: ASSEMAE, 2015, p. 1-13.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Relatório final do grupo de trabalho interministerial para a redelimitação do semiárido nordestino e do polígono das secas**. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 12.873**, de 24 de outubro de 2013. Dentre outros, altera as Leis nos 8.212, de 24 de julho de 1991, e 8.213, de 24 de julho de 1991, o Decreto-Lei no 5.452, de 1o de maio de 1942 - Consolidação das Leis do Tra-

balho, as Leis nos 11.491, de 20 de junho de 2007, e 12.512, de 14 de outubro de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, DF, v. 1, n. 208, 2013.

BRASIL. Ministério da Cidadania - MDS. **Programa cisternas**. Disponível em: <<http://mds.gov.br/assuntos/seguranca-alimentar/acesso-a-agua-1/programa-cisternas>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS Nº 888**, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, v. 81, n. 1, 2021.

DACACH, N G. **Saneamento Básico**. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

DACACH, N.G. **Saneamento Básico**. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos, 1981.

DALSASSO, Ramon Lucas; GUEDES, Tiago Lemos. Proposta de um sistema automático de descarte de água de chuva: estudo de caso. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 5, n. 2, p. 099-106, 2017.

EMPARN, **Empresa de Pesquisas Agropecuárias do Rio Grande do Norte**, 2021. Disponível em: <<http://www.emparn.rn.gov.br>>. Acesso em: 10 jun. 2021.

GONÇALVES, R. F.; ALVES, W. C. & ZANELLA, L. Conservação de Água No Meio Urbano. *In*: GONÇALVES, R. F. **Uso Racional da Água em Edificações**. Prosab-Finep Edital 4. Rio de Janeiro: Abes, p. 29-71, 2006.

HAGEMANN, Sabrina Elicker. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2009.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Semiárido Brasileiro**, 2018. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 30 set. 2020.

MASSON-DELMOTTE, V. *et al.* **IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** Cambridge University Press. In Press. 2021

J JABUR, Andrea Sartori; BENETTI, Heloiza Piassa; SILIPRANDI, Elizangela Marcelo. Aproveitamento da água pluvial para fins não potáveis. *In*: **Anais do VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. n. 12, anais, 2011.

KOUNINA, Anna *et al.* Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. **The**

**International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 3, p. 707- 721, 2013.

LIMA, J. C. A. L. **Avaliação do desempenho de dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva utilizado em cisternas no semiárido pernambucano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, CTG, Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil, 2012.

MEKONNEN, Mesfin M.; HOEKSTRA, Arjen Y. Four billion people facing severe water scarcity. **Science advances**, v. 2, n. 2, p. e1500323, 2016.

OECD/FAO. Organization for Economic Co-operation and Development - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2015**. Paris: OECD publishing, 148 p, 2015.

RODRIGUES, Herbert Kohl *et al.* Dispositivo automático de descarte da primeira água de chuva. *In: Anais do VI Simpósio Brasileiro de captação e manejo de água de chuva*, n. 9, 2007. Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2007.

ROSA, Ricardo S. *et al.* Diversidade, padrões de distribuição e conservação dos peixes da Caatinga. *In: Leal, I. R., Tabarelli, M., Silva, J. M. C. Ecologia e conservação da Caatinga*. cap. 32, p. 135-180, Recife: UFPE, 2003.

SUDENE, Conselho Deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, **Resolução nº 115**, de 23 de novembro de 2017, 2017.

SUDENE, Conselho Deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, **Portaria nº 80**, de 27 de julho de 2021, 2021.

SILVA, Pedro Carlos Gama *et al.* Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. pp: 18-48. *In*: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

SILVA, Selma Thaís Bruno da. **Influência das condições de ocupação do solo, da deposição seca e de dispositivos de desvio, sobre a qualidade da água de chuva**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco, CTG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2017.

SILVA, Selma Thaís Bruno da *et al.* Análise da influência da deposição seca e da modificação em dispositivo automático sobre a qualidade da água de chuva. *In*: **Anais do 30º Congresso ABES 2019, Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. n. 30, 2019, Natal-RN. Anais. Natal: ABES, 2019, p. 1-7.

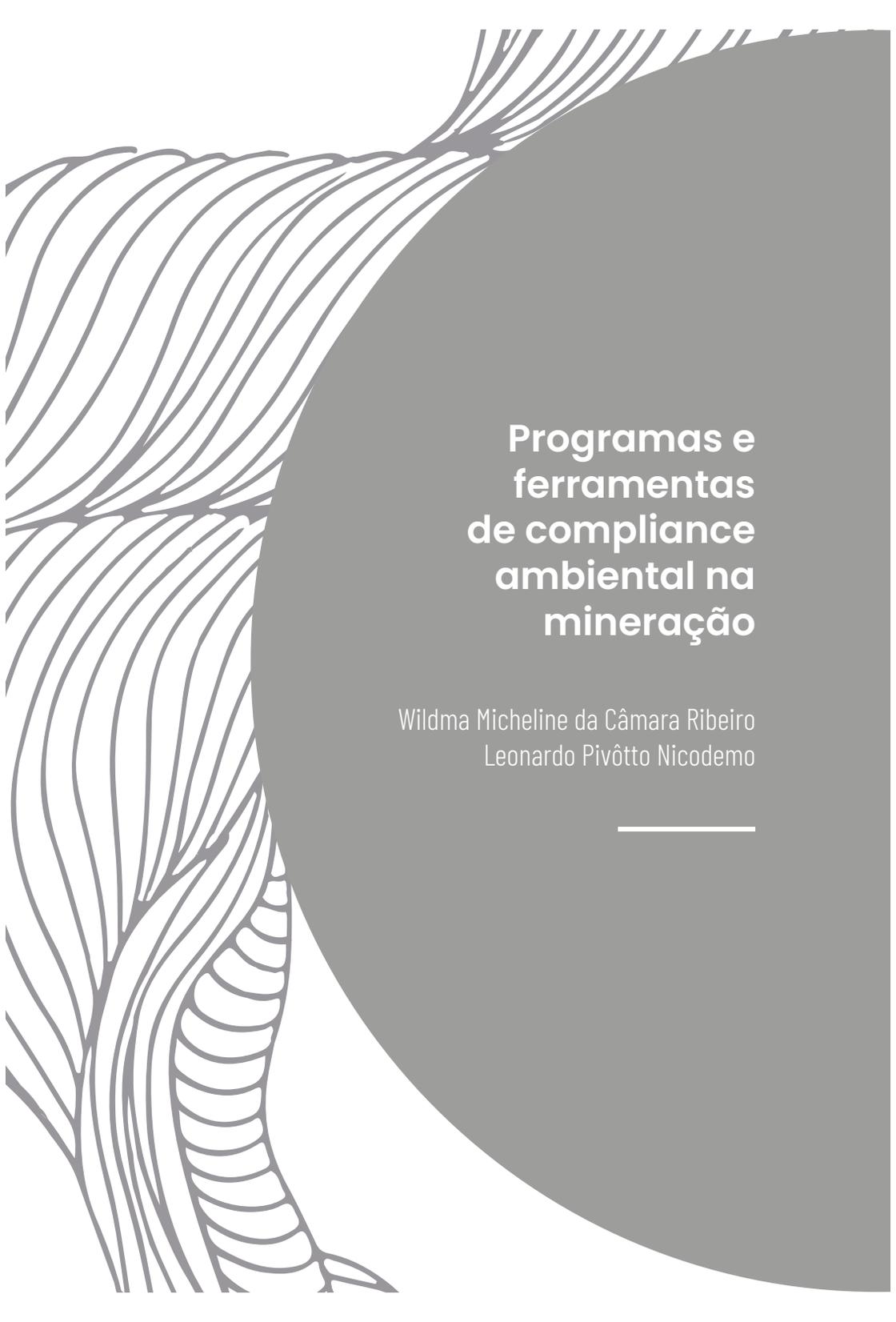
INSA MCTI. **Aproveitamento de Água de Chuva: Aspectos Tecnológicos e Aplicações**. INSA MCTI, 2020. 1 vídeo (2 hs

18 min e 44 seg). Exibido em 14 de setembro 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Pyft5KSI48k>>. Acesso em: 14 set. 2020.

TWDB. Texas Water Development Board. **Texas Guide to Rainwater Harvesting**. 3rd ed. Austin, Texas: TWDB, 2005.

Tigre. **Manual técnico Tigre**: orientações técnicas sobre instalações hidráulicas prediais. Tigre S. A. 2010.

ZANELLA, L. **Manual para captação emergencial e uso doméstico de água de chuva**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas.



# Programas e ferramentas de compliance ambiental na mineração

Wildma Micheline da Câmara Ribeiro  
Leonardo Pivôto Nicodemo

---

# Introdução

A conciliação entre o crescimento econômico e a preservação ambiental é assunto de grande relevância social, de modo que o tema mobiliza vários setores da sociedade, tais como governos, empresas, organizações não governamentais e a própria comunidade acadêmica, sempre considerando a finitude dos recursos naturais em relação às demandas para o crescimento econômico (GASPARETTO; RIBAS; JÚNIOR, 2017).

O cenário atual, de crise e conflitos ambientais, demonstra que a melhoria da qualidade de vida e a proteção do meio ambiente são pressupostos para a geração de riqueza, e não podem ser desconsideradas, nem pela iniciativa privada nem pelo Estado (OLIVEIRA; COSTA; SILVA, 2018).

A preocupação com o meio ambiente não é modismo; ao contrário, esse movimento em prol da natureza tem laços firmes e base científica, e surgiu como resposta a uma situação sufocante de ameaça aos recursos naturais. Desse modo, se faz necessária a incorporação de práticas sustentáveis que demandam mudanças comportamentais por parte dos entes públicos e privados, consolidando-se uma cultura de integridade social, econômica e ambiental.

Nesse contexto, a construção de uma sociedade sustentável deve ser baseada em alguns princípios, tais como o cuidado e respeito aos seres vivos, melhoria de qualidade da vida humana, conservação e vitalidade da diversidade na Terra, minimização da utilização de recursos não-renováveis, observância dos limites de capacidade do planeta, mudanças e práticas individuais e, finalmente, a geração de uma estrutura

que possibilite – baseada em um alicerce normativo – a integração entre desenvolvimento e conservação (MILARÈ, 2018).

Acontece que somente o arcabouço normativo não garante a integridade do sistema, especialmente pelo fato de que o indivíduo pode escolher entre cumprir ou não uma determinação legal (GOMES; OLIVEIRA, 2017). É que, com a produção em massa, o consumo desenfreado e a busca incessante pelo lucro, as organizações e, em última análise, o indivíduo tendem a se distanciar de condutas e posturas moral e legalmente corretas, como o atendimento à legislação ambiental.

Nesse cenário de livre escolha, o Brasil se deparou, nos últimos anos, com grandes tragédias ambientais envolvendo a atividade de mineração, situações que despertaram a necessidade de estruturação de novos meios e ferramentas de gestão ambiental, especialmente os de caráter preventivo.

Assim, com vistas a incentivar e promover a adoção de medidas preventivas, respeitando as exigências legais e com foco na gestão de riscos relacionados às pessoas jurídicas exploradoras de atividade econômica, o Projeto de lei (PL) nº 5.442/2019 foi proposto pelo deputado Luiz Flavio Gomes, que está em tramitação na Câmara dos deputados e regulamenta os programas de conformidade ambiental e dá outras disposições.

O PL 5.442/2019 busca promover a observância das exigências legais e trata o *compliance* ambiental como importante ferramenta na redução de riscos vinculados às pessoas jurídicas exploradoras de atividades econômicas (BRASIL, 2019).

Dentre as atividades econômicas relevantes, sob o ponto de vista socioambiental, destaca-se o aproveitamento de recursos minerais. A mineração é, sem dúvida, uma das ativi-

dades que merecem muita atenção de toda a sociedade, pois ao mesmo tempo que se mostra indispensável ao desenvolvimento, se apresenta como causadora de relevantes impactos adversos.

Trata-se de uma das atividades econômicas mais importantes da história da humanidade, mas também é certo que, por suas especificidades, provoca vários impactos indesejados, o que torna imperiosa a busca por mecanismos de gestão que visem prevenir e minimizar eventuais danos socioambientais, contribuindo, assim, para o desenvolvimento sustentável.

É nesse contexto que se insere o *compliance* ambiental, cujos programas e ferramentas possuem como objetivo principal o gerenciamento de riscos e a prevenção de danos ao meio ambiente, sendo assim um instrumento estratégico e relevante para o alcance de uma mineração mais sustentável.

## O princípio do desenvolvimento sustentável na mineração e a relação da atividade com a agenda 2030

No contexto do direito internacional, em meio às discussões que precederam a Convenção de Estocolmo de 1972, foram criadas as bases para a geração do princípio do desenvolvimento sustentável, basilar em matéria de direito ambiental e que reflete o profundo elo entre meio ambiente e desenvolvimento (JUNIOR, 2013).

Vários anos de trabalho e estudos se fizeram necessários, até que a comunidade internacional conceituasse, finalmente, o cognominado desenvolvimento sustentável. O termo

foi expresso inicialmente pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1987, no relatório intitulado “Nosso Futuro Comum”, conhecido também como Relatório *Brundtland*, segundo o qual o desenvolvimento sustentável seria aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades. A definição de desenvolvimento sustentável sugere primordialmente uma mudança no comportamento humano, sem, contudo, entregar uma fórmula pronta para evitar a poluição e a escassez de recursos (FEIL; SCHREIBER, 2017).

O tema tem sido objeto de preocupação mundial há mais de quatro décadas e, além dos marcos já mencionados, vale ainda destacar a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, também conhecida como ECO-92 ou Rio-92, onde foi definida a Agenda 21, que apresentou metas a serem atingidas pelos países signatários, todas com ênfase no desenvolvimento sustentável (MILARÉ, 2018).

No que concerne, especificamente, à atividade de mineração – em razão de suas características peculiares, como o aproveitamento de recursos exauríveis e a rigidez locacional – a sua inclusão no conceito de desenvolvimento sustentável admite atividades antrópicas que causem impactos ambientais adversos, sem, contudo, deixar de lado a precaução, prevenção à poluição, proteção e recuperação o meio ambiente degradado.

Assim, a partir da participação do Canadá na reunião da Comissão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (ECO 92), um conceito operacional aplicável ao setor mineral e metalúrgico foi formulado pela agência ambiental

canadense, propondo a seguinte adaptação do conceito geral de desenvolvimento sustentável: o objetivo do desenvolvimento sustentável está relacionado à pesquisa, extração, produção, adição de valor, utilização, reutilização e reciclagem de produtos minerais e metálicos da maneira mais eficiente possível, respeitando as necessidades e valores dos usuários de outros recursos e mantendo ou melhorando a qualidade do meio ambiente para as gerações presentes e futuras (CANADÁ, 1997).

Desse modo, considerando a formulação conceitual de desenvolvimento sustentável aplicável à atividade mineradora, entende-se que, para atingi-lo, é necessário pesquisar novas reservas minerais, investir em tecnologias de prospecção, lavra e beneficiamento – garantindo, às gerações futuras, a disponibilidade dos bens minerais que necessitarão – e conduzir a atividade de acordo com as melhores práticas de gestão, visando a manutenção e até providenciando a melhoria da qualidade ambiental para as gerações atuais e futuras.

Nesse cenário de busca global pelo desenvolvimento sustentável, a Organização das Nações Unidas (ONU) aprovou, no ano de 2015, o documento denominado “Transformando o Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” que substituiu a Agenda 21 e contemplou um conjunto de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs) e 169 metas associadas, integradas e indivisíveis envolvendo aspectos sociais, ambientais e econômicos para o período de 2015 a 2030.

Quanto aos objetivos, constantes na Agenda 2030, a atividade de aproveitamento mineral tem potencial para contribuir de forma significativa e positiva no alcance de todos

eles, entretanto, também pode impactar negativamente o seu atendimento caso não sejam tomadas as medidas estratégicas adequadas (PNUD, 2017).

Assim, os ODSs representam uma oportunidade para as empresas, que atuam no ramo da mineração, estabelecerem pontes com os *stakeholders*, participando de discussões que envolvam a própria indústria em busca de contribuir para o desenvolvimento sustentável (PNUD, 2017).

## *Compliance*: evolução do tema e interface ambiental

O termo *compliance* tem sua etimologia no verbo *to comply*, em inglês, significa cumprir, executar, realizar o que proposto, agir de acordo e estar em conformidade (GOMES; OLIVEIRA, 2017). É, então, o atendimento a todos os requisitos que uma organização tem que cumprir por dever legal e também os que ela seleciona para, voluntariamente, atender (ABNT, 2021). Está relacionado ao conjunto de normas e padrões éticos e legais que direciona o comportamento da organização, tanto internamente como na relação com os demais interessados, em busca da mitigação dos riscos inerentes ao negócio.

A conformidade pode ser alcançada por meio de posturas adotadas pelas empresas, órgãos e indivíduos, visando muito mais do que atender às leis, posto que *compliance* é também um investimento na transparência de pessoas e empresas no cumprimento de normas, códigos de ética, missões e objetivos (GOMES; OLIVEIRA, 2017).

As discussões acerca do assunto têm como marco inicial o ano de 1930, quando, na fundação do BIS (*Bank for Interna-*

*tional Settlements*), com sede na Basileia-Suíça, buscava-se a cooperação com os bancos centrais visando o combate ao que naquela época já se denominava lavagem de dinheiro (SEGAL, 2018).

A construção do instituto ocorreu gradualmente e recebeu influência de diversas normas e movimentos, tendo como relevante marco o colapso do mercado financeiro americano na depressão da década de 1930, que levou à criação do *Banking Act* de 1933 e o *Securities Act* de 1934 (MILLER, 2014).

Foi em paralelo ao amadurecimento do mercado no período pós revolução industrial que aconteceu a evolução do tema e, posteriormente, o seu fortalecimento em razão dos escândalos de corrupção na década de 60, quando a *Securities and Exchange Commission* (SEC), visando auxiliar as áreas de negócios e ter uma supervisão efetiva, passou a criar procedimentos internos de controle e a treinar pessoas para monitorar conformidade, principalmente reforçando a confiabilidade e estabilidade do sistema financeiro (SANTOS, 2018).

Pois bem, passados 60 anos das primeiras discussões, somente a partir da abertura comercial na década de 90, o Brasil iniciou a sua busca de alinhamento para competitividade internacional (SANTOS, 2018). A matéria, no Brasil, avançou de forma significativa nas últimas décadas, mas mesmo assim, ainda pode ser considerada embrionária (GOMES; OLIVEIRA, 2017).

Como marcante no ordenamento jurídico brasileiro, tem-se a Lei de Lavagem de Dinheiro (Lei 12.683/2012), a Lei anticorrupção (Lei 12.846/2013) e o seu decreto regulamentador 8.420/15, que trazem obrigações para determinadas pessoas

jurídicas, com o objetivo de evitar crimes e facilitar a fiscalização por parte dos órgãos públicos (GOMES; OLIVEIRA, 2017).

O tema tem se aproximado ativamente do Direito Ambiental, não se restringindo apenas à área financeira onde se originou, de forma que Organizações multilaterais, como Nações Unidas e a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), veem as boas práticas de governança como pilares da arquitetura econômica global e instrumento do desenvolvimento sustentável em suas três dimensões – econômica, ambiental e social (GOMES; OLIVEIRA, 2017).

O *compliance* na seara ambiental vai além da identificação da legislação aplicável ao negócio, se desdobrando no desenvolvimento de estratégias e procedimentos capazes de avaliar ações destinadas à gestão ambiental, com vistas a evitar autos de infração, multas, processos administrativos, cíveis e criminais (BARBOSA, 2018).

Assim, a ferramenta complementa os princípios que regem o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, fugindo do campo teórico e oferecendo efetividade no âmbito da legislação vigente, além de oferecer plena efetividade à prevenção de riscos na esfera empresarial, devendo ser incorporada à gestão corporativa da empresa interagindo com outras áreas, tais como o setor jurídico, auditoria, compras, contratos, contábil e financeira e especialmente a área operacional (BARBOSA, 2018).

O foco do *compliance* ambiental é a busca pelo desenvolvimento sustentável, por meio da adoção de práticas que buscam o equilíbrio entre aspectos econômicos, sociais e ambientais (SION, 2021). O instituto envolve três níveis de

integridade comportamental: a) a internalização de normas e procedimentos de adequação às normas jurídicas, éticas e técnico-científicas de sustentabilidade; b) o *enforcement*, ou seja, a aplicabilidade e executoriedade de normas e procedimentos internalizados; e c) adoção de sistemas de solução de conflitos entre normas e procedimentos internalizados (entre si e entre estes) e as normas e procedimentos externos plurissistêmicos (OLIVEIRA; COSTA; SILVA, 2018).

## Programas de *compliance* ambiental: do PL 5.442/19 À norma ABNT ISO 37301:2021

Os programas de *compliance* buscam prevenir a prática de condutas ilícitas, por meio de mecanismos que visam evitar situações com potencial de causar danos ou oferecer perigo ao bem jurídico tutelado pelo Estado, no caso, o meio ambiente (DOMINGOS; BLANCHET, 2019).

Desse modo, estar em conformidade significa lastrear a atuação no cumprimento das normas aplicáveis e tendo princípios éticos como norte da gestão corporativa, tudo com base em alguns pilares (Quadro 1) que são elementos fundamentais de sustentação e condução de um programa de *compliance* (SEGAL, 2018).

**Quadro 1** – Pilares do programa de compliance

<b>Pilar</b>	<b>Descrição</b>
1º PILAR	Comprometimento da alta direção
2º PILAR	Estrutura voltada para a proteção do programa
3º PILAR	Análise de riscos
4º PILAR	Estruturação de procedimentos
5º PILAR	Estratégias de monitoramento contínuo

Fonte: adaptada de Segal (2018).

Os desdobramentos dos pilares – para configuração do programa – precisam ser adaptados às características da empresa, atividade que ela desenvolve e aos riscos envolvidos (TRENNEPOHL, 2020).

Conforme já explicitado anteriormente, no âmbito da atividade legislativa brasileira, visando incentivar e promover a adoção de medidas preventivas, com a observância das exigências legais e gestão de riscos relacionados à exploração de atividade econômica, foi proposto o Projeto de lei nº 5.442/2019 que, em tramitação na Câmara dos deputados, regulamenta os programas de conformidade ambiental em âmbito nacional.

O PL define programa de conformidade ambiental – de forma bastante semelhante à definição contida no Decreto nº 8.420/2015 (que regulamentou os programas de compliance previstos na Lei nº 12.846/2013, conhecida como “lei anticorrupção”) – como sendo um conjunto de mecanismos e procedimentos internos de conformidade, auditoria e incentivo à denúncia de irregularidades e na aplicação efetiva de códigos de conduta, políticas e diretrizes com o objetivo de detectar,

prevenir e sanar irregularidades e atos ilícitos lesivos ao meio ambiente (BRASIL, 2019).

O projeto busca promover a observância das exigências legais e trata o *compliance* ambiental como importante ferramenta na redução de riscos relacionados ao meio ambiente e, apesar de não apresentar a obrigatoriedade de implantação de um programa de *compliance* – exceto para empresas públicas e sociedades de economia mista –, traz restrições para contratação com o poder público e proibição do fomento estatal e de parcerias público-privadas para empresas que não possuam um programa efetivo, além da atenuação de penalidades – com alteração da Lei 9.605/1998 (Lei de crimes ambientais) – para o empreendedor que demonstrar a existência de um programa de conformidade ambiental.

A proposta está em tramitação na câmara dos deputados e ainda tem um longo caminho legislativo a ser percorrido até o seu potencial ingresso no ordenamento jurídico, mas nada impede que as empresas se antecipem e promovam adequações, de modo a incorporar as diretrizes contidas no PL em seu escopo de governança.

O art. 6º do projeto elenca as 9 diretrizes que devem ser consideradas para avaliação da efetividade do programa, conforme o quadro 2.

**Quadro 2** – Diretrizes para avaliação da efetividade do programa de conformidade ambiental

<b>Inciso</b>	<b>Diretriz</b>
I	Comprometimento da alta direção da pessoa jurídica, incluídos os conselhos, evidenciado pelo apoio visível e inequívoco ao programa;
II	Padrões de conduta, código de ética, políticas e procedimentos de conformidade, aplicáveis a todos os empregados e administradores independentemente de cargo ou função exercidos;
III	Treinamentos periódicos sobre o programa de conformidade;
IV	Análise periódica de riscos para realizar adaptações necessárias ao programa de integridade;
V	Independência, estrutura e autoridade da instância interna responsável pela aplicação do programa de conformidade e fiscalização de seu cumprimento;
VI	Canais de denúncia de irregularidade, abertos e amplamente divulgados a funcionários e terceiros, e de mecanismos destinados à proteção de denunciantes de boa-fé;
VII	Medidas disciplinares em caso de violação do programa de conformidade
VIII	Procedimentos que assegurem a pronta interrupção de irregularidades ou infrações detectadas e a tempestiva remediação dos danos gerados;
IX	Monitoramento contínuo do programa de conformidade visando seu aperfeiçoamento na prevenção, detecção e combate à ocorrência dos atos lesivos previstos na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998

Fonte: adaptada do PL 5.442/2019 (2020).

O quadro 3 apresenta a correspondência entre os pilares de *compliance* apresentados por Segal (2018) e as diretrizes para avaliação propostas no PL nº 5.442/2019:

**Quadro 3** – Correspondência entre os pilares do programa e as diretrizes para avaliação constantes no art. 6º do PL nº 5.442/2019

<b>Pilar</b>	<b>Descrição</b>	<b>Previsão no PL nº 5.442/2019</b>
1º PILAR	Comprometimento da alta direção	art. 6º, inciso I e II
2º PILAR	Estrutura voltada para a proteção do programa	art. 6º, inciso III, V e VI
3º PILAR	Análise de riscos	art. 6º, inciso IV
4º PILAR	Estruturação de procedimentos	art. 6º, inciso VI, VII e VIII
5º PILAR	Estratégias de monitoramento contínuo	art. 6º, inciso IX

Fonte: autoria própria (2021).

Além do PL nº 5.442/2019, que trata especificamente de *compliance* ambiental, foi publicada, no ano de 2021, a Norma Técnica ABNT ISO 37301:2021 (sistemas de gestão de *compliance* – Requisitos com orientação para usos).

A ABNT NBR ISO 37301:2021 lastreia os programas de *compliance* no princípio PDCA (Plan-Do-Check-Act) de melhoria contínua e apresenta os elementos do sistema de gestão de *compliance* dentro da lógica do PDCA.

Um dos principais objetivos da norma é contribuir para que as organizações desenvolvam uma cultura positiva de *compliance*, com sólida e eficaz gestão de riscos relacionados

ao negócio visando a melhoria de oportunidades e sustentabilidade, proteção à reputação e credibilidade, atendimento às expectativas das partes interessadas, demonstração de comprometimento da organização, aumento da confiança de terceiros na capacidade de a organização gerenciar os seus riscos, minimização do risco de incorrência em custos relacionados aos danos reputacionais (ABNT,2021)

A ABNT ISO 37301:2021 estabelece requisitos que podem e devem ser adaptados, considerando que o programa ou sistema de *compliance* adotado por qualquer organização deve ser compatível com o seu porte e com a magnitude dos riscos aos quais a atividade está submetida, de modo que empresas de menor complexidade e de pouco potencial poluidor poderão desenhar programas com baixo custo e que envolvam estruturas e medidas simples, já organizações mais complexas e com maior risco associado devem, naturalmente, estabelecer programas mais robustos.

## Programas e ferramentas de *compliance* ambiental na atividade de mineração

A mineração é, certamente, uma das atividades econômicas mais importantes da humanidade, uma vez que praticamente toda a cadeia produtiva depende dos recursos minerais para sua manutenção, sustentação e desenvolvimento, de modo que a utilização de minérios no sistema de produção é marcante. Na conferência Rio+10 de Johannesburgo, realizada em 2002, a atividade minerária, justamente por sua relevância na manutenção da qualidade de vida, foi considerada

como fundamental para o desenvolvimento humano e social (THOMÉ, 2018).

Acontece que, apesar da sua relevância dentro da matriz produtiva e do contexto social, é certo que a mineração provoca interações e resultados negativos do ponto de vista social e ambiental, tais como: alterações geomorfológicas, mudanças na dinâmica dos recursos hídricos, supressão de vegetação, interferências em habitats e áreas ecologicamente sensíveis, emissões atmosféricas, ruído, vibração, aumento da demanda por serviços públicos etc. (LAMEGO, 2018).

Por outro lado, não se pode ignorar o fato de que, intimamente relacionados aos aspectos ambientais, estão questões de natureza econômica e mercadológica e que a inobservância de determinações legais, podem ter um resultado devastador para o meio ambiente e também para a própria sustentabilidade do negócio, com interferência nos custos, benefícios, limitações, potencialidades, ameaças e oportunidades (RAFUL, JUCHEM, CAVALHEIRO, 2010).

Acerca dessa assertiva, é importante trazer à discussão os dois grandes desastres ambientais ocorridos recentemente no sudeste do Brasil e relacionados às atividades minerárias das empresas Samarco Mineração e Vale SA, respectivamente nos Municípios de Mariana-MG e Brumadinho-MG.

O rompimento das barragens do Fundão em Mariana-MG resultou na morte de trabalhadores da empresa Samarco e de moradores da região, populações desabrigadas, destruição de estruturas públicas e privadas e de 1.469 hectares de vegetação, incluindo áreas de preservação permanente, prejuízos à biodiversidade aquática e fauna terrestre, perda de habitats, inviabilidade das atividades de pesca por um período indeter-

minado e impossibilidade de atividades de turismo. Um dos graves problemas foi a constatação da alteração dos padrões de qualidade e a interrupção do fornecimento de água (IBAMA, 2015).

Já o desastre de Brumadinho apresenta números ainda mais alarmantes, com 270 mortos, 5 desaparecidos e rejeitos de mineração que devastaram 133,27 hectares de vegetação nativa de Mata Atlântica e 70,65 hectares de Áreas de Preservação Permanente (APP) ao longo de cursos d'água afetados.

Os eventos mencionados resultaram em danos ambientais, sociais e econômicos irreparáveis ou de difícil reparação. Deixaram certamente um saldo extremamente negativo para a imagem das empresas que ali operavam e para a mineração de uma forma geral.

Além dos impactos socioambientais, as companhias sofreram sérios impactos financeiros que certamente apareceram nos seus balanços. Só em Brumadinho-MG, a Vale SA foi multada em R\$ 250.000.000,00 pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2020) e R\$ 99.000.000,00 pelo governo de Minas Gerais. Em fevereiro de 2021, o governo de Minas Gerais e a Vale firmaram acordo bilionário visando a reparação dos danos ocasionados pela tragédia de Brumadinho. Após muitas negociações, restou acordado o valor de mais de R\$ 37 bilhões (GIRUNDI; FREITAS; CASTRO, 2021).

Além de tudo, o rastro destrutivo da barragem de Brumadinho causou forte impacto nas ações da Vale e de sua Holding Bradespar, com queda de 25% e significativa perda de valor de mercado. No caso Samarco, houve processo judicial inicial com pedido inicial de 20 bilhões de reais, concluído por meio

de acordo entre a Samarco, seus acionistas e as autoridades brasileiras, por meio do qual foram provisionados 3,4 bilhões de reais, e, dentre outras iniciativas, criou-se a Fundação Renova (RIZÉRIO, 2019).

Os principais questionamentos que permeiam acontecimentos dessa magnitude giram em torno do comprometimento com políticas de cunho preventivo, quais sejam:

(I) existia identificação dos elementos das atividades capazes de interagir com o meio ambiente?

(II) os requisitos legais aplicáveis (obrigações de compliance) tinham sido devidamente levantados?

(III) existia análise e avaliação de riscos ambientais (riscos de compliance);

(IV) era realizado monitoramento periódico do atendimento aos requisitos legais?

(V) os resultados do monitoramento eram reportados aos órgãos competentes?

(VI) os resultados do monitoramento eram utilizados no processo de melhoria contínua?

Nesse cenário de dúvidas e questionamentos, a certeza que se tem é a de que a ocorrência de impactos ambientais adversos é um risco inerente ao aproveitamento de bens minerais e, como a mineração é vital e insubstituível, torna-se

imperiosa a busca por mecanismos de gestão aptos a prevenir e minimizar os danos dela resultantes.

Assim, é necessário e urgente que se pesquisem, desenvolvam e aperfeiçoem constantemente meios modernos e eficientes para a garantia da integridade e manutenção de uma atividade tão importante e indispensável para toda humanidade.

Pois bem, os programas de *compliance* ambiental têm justamente o objetivo de prevenir e minimizar riscos de natureza operacional, jurídica, social, financeira e reputacional (SEGAL, 2018), com o grande diferencial de serem desenvolvidos com base em princípios éticos e humanizados.

Desse modo, tais programas se mostram como meios viáveis e interessantes para se alcançar uma mineração cada vez mais sustentável.

A gestão e o gerenciamento de riscos legais passam, necessariamente, pela identificação e análise das demandas geradas a partir da legislação aplicável, além dos compromissos assumidos voluntariamente pelo empreendedor.

## Legislação ambiental aplicável à mineração

Em razão do já mencionado potencial para causar impactos ambientais adversos, a atividade de mineração possui um arcabouço normativo amplo que vai desde a Constituição Federal até às normas técnicas e regulamentadoras.

Desse modo, os marcos legais aqui apresentados representam somente uma parcela, relevante, mas incompleta, da legislação aplicável à atividade.

Como norma geral sobre proteção ambiental, tem-se a Política Nacional do Meio ambiente, que, instituída pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelece princípios, objetivos e instrumentos para preservação dos recursos ambientais no país. Além de instituir o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), foi um diploma inovador à época de sua elaboração, tendo sido fortemente influenciada pelas normas de direito internacional (THOMÉ, 2018).

Relacionados especificamente à atividade minerária, o ordenamento jurídico pátrio conta com os seguintes marcos: o Decreto-Lei nº 227/1967 (Código de Minas), o Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018, que regulamenta o Código de Minas, e a Lei Federal nº 7.805/1989, que cria o regime de permissão de lavra garimpeira.

O Decreto-Lei nº 227/1967 regula todas as etapas concernentes ao extrativismo mineral, a saber: os regimes de aproveitamento das substâncias minerais, os tipos de minas, a pesquisa mineral, as sanções e nulidades aplicáveis em caso de descumprimento de determinações relacionadas às obrigações decorrentes das autorizações de pesquisa, das permissões de lavra garimpeira, das concessões de lavra e do licenciamento (BRASIL, 1967).

As mencionadas normas, promulgadas antes de 1988, foram recepcionadas pela Constituição da República Federativa do Brasil (CRFB) de 1988 que, no art. 20, IX, prevê que os recursos minerais são bens da União; já o art. 225, § 2º, da CRFB traz a obrigação de recuperar o meio ambiente degradado, por todos os que explorarem recursos minerais.

A Constituição também estabelece a defesa do meio ambiente como princípio da ordem econômica (BRASIL, 1988),

demonstrando que a mineração – em comparação com diversas outras atividades potencialmente poluidoras – alcançou lugar de destaque, tratada em artigo específico na Carta Constitucional, no art. 176.

Ainda no rol de relevantes diplomas legais aplicáveis à atividade, importa mencionar as seguintes Leis Federais: 7.990/1989, que institui a compensação financeira pelo resultado da exploração de recursos minerais; 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos; 9.605/1998, que estabelece sanções administrativas e penais para causadores de danos ao meio ambiente; 9.985/2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação e a 12.651/2012, tratando do Código Florestal.

Quanto ao licenciamento ambiental da atividade, aplicam-se as normas gerais contidas na resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 237/1997 e a Lei Complementar 140/2011, além das disposições específicas constantes nas resoluções CONAMA nº 009/1990 e 010/1990.

Nota-se que o ordenamento jurídico brasileiro possui envergadura legislativa em matéria ambiental na regulação da atividade minerária. Acontece que é preciso alcançar a efetividade dessas e das outras normas aplicáveis, de modo a garantir a preservação ambiental e a qualidade de vida dos indivíduos (GUIMARÃES; JESUS, 2017).

Nesse diapasão, o filósofo francês Charles-Louis de Secondat – Barão de Montesquieu – escreveu há mais de dois séculos: “Quando vou a um país, não examino se há boas leis, mas se as que lá existem são executadas, pois boas leis há por toda a parte”.

Ou seja, no caso específico da mineração, de nada adianta a envergadura legislativa, em matéria ambiental, aplicável à atividade se não existirem mecanismos e ferramentas aptos a efetivar a letra da lei e, para além dos requisitos legais, buscar a melhoria contínua da atividade com base em valores e princípios éticos.

## O desenvolvimento de um programa de *compliance* ambiental voltado à atividade de mineração

Na trilha do desenvolvimento sustentável, na mineração, é necessário pesquisar novas reservas minerais, investir em tecnologias de prospecção, lavra e beneficiamento, garantindo a disponibilidade dos bens minerais às gerações futuras; e conduzir a atividade de acordo com as melhores práticas de gestão, visando a manutenção e até providenciando a melhoria da qualidade ambiental para as gerações atuais e futuras.

Os pilares do Projeto de lei nº 5.442/2019, aliados aos requisitos da norma ABNT ISO 37301:2021, se apresentam como mecanismos aptos, viáveis e promissores na busca pela conformidade legal e melhoria contínua da atividade, de modo a prevenir autuações ambientais, multas, demandas judiciais e desgastes reputacionais, contribuindo, assim, com o desenvolvimento efetivamente sustentável.

Um programa de *compliance*, – além de todos os benefícios referentes à redução de autuações, multas, instaurações de processos administrativos, cíveis e criminais e prevenção de riscos legais – representa uma oportunidade para as empresas que atuam no ramo da mineração estabelecerem pontes com

os *stakeholders*, participando de discussões que envolvam a indústria e garantindo a própria continuidade do negócio.

Primeiramente, para que se desenvolva uma cultura de *compliance*, é necessário que haja o compromisso de adesão por parte das pessoas que dirigem e controlam a organização no mais alto nível, também é imprescindível que as diversas áreas da empresa estejam completamente alinhadas quanto à nova cultura que deverá ser implantada.

Estabelecidas as bases do programa é preciso partir para a fase de arquitetura, com a definição do escopo, elaboração da política de *compliance* ambiental e definição de papéis, responsabilidades e obrigações, ações que envolvem o 1º e o 2º pilares do programa e estão expostas nos os incisos I, II e V do PL 5442/2019 e também constam nos requisitos da norma ABNT ISO 37301.

Uma etapa muito importante do desenvolvimento do programa é a identificação, análise e avaliação dos riscos.

Referente à gestão dos riscos, sugere-se que seja realizado, antecipadamente, o levantamento preliminar das denominadas obrigações de *compliance*, que são os requisitos de cumprimento compulsório e aqueles selecionados voluntariamente.

Para realização da análise de riscos, é importante que se considere as causas-raiz e as fontes do não-*compliance*, bem como as suas consequências, além da probabilidade de ocorrência. As consequências podem incluir por exemplo: danos ambientais e pessoais, perdas econômicas, danos à reputação e responsabilidades civis e criminais (ABNT, 2021).

Para avaliação dos riscos de *compliance*, a organização pode lançar mão de alguma das várias ferramentas desenvol-

vidas com essa finalidade, como por exemplo a técnica denominada “Análise preliminar de risco (APR)”.

A APR é uma ferramenta muito utilizada para avaliar riscos e toma por base uma matriz de probabilidade x impacto, que é formada por dois eixos, o de probabilidade de ocorrência do risco e o seu impacto no projeto/ organização.

É o mapeamento e a avaliação dos riscos que permitem à organização uma visão geral acerca das suas necessidades e de quais ações devem ser tomadas para garantir o estado de conformidade, por meio da prevenção e tratamento dos riscos (procedimentos) e monitoramento do programa de *compliance*, que são outras etapas do programa.

Nesse contexto, devem ser estabelecidas formas com as quais a organização vai lidar com os riscos associados ao seu negócio, como por exemplo a criação de procedimento para determinação dos objetivos e metas do programa de *compliance* ambiental, alterações nos procedimentos de contratação de pessoal para incluir o compromisso com a integridade do programa, a promoção de eventos e treinamentos de conscientização, o estabelecimento das cadeias de comunicação considerando as relações internas e externa e o desenvolvimento processos para encorajamento de e apuração de denúncias.

Com o programa já estruturado, ainda é preciso estabelecer os procedimentos de verificação e melhoria contínua.

As ações de verificação possuem o objetivo primordial de averiguar a efetividade do programa e envolvem monitoramento, medição, avaliação, auditorias internas e análise crítica pela direção.

Fechando o ciclo do PDCA, tem-se as ações de melhoria contínua, que são essenciais à manutenção de um programa

de *compliance* ambiental. A eficácia e envergadura do programa devem ser avaliadas permanentemente pelos seus próprios mecanismos (auditorias, análises críticas, investigação de não-conformidades) e a partir daí desenvolvidas formas de aprimoramento continuado.

Por fim, para desenvolver um programa específico destinado a qualquer empresa de mineração, não se pode deixar de enfatizar – dentre outros requisitos e a partir da avaliação e análise de riscos – a gestão e controle do processo de licenciamento e das condicionantes de licença, as previsões contidas na Lei de crimes ambientais e Política Nacional de Meio Ambiente, além das exigências do código de mineração.

## Considerações finais

O *compliance* ambiental tem a identificação, análise e gestão de riscos como um de seus mais importantes pilares, a partir do qual se desenvolve toda a estrutura do sistema, com ações que buscam o integral atendimento aos requisitos legais e de conduta ética.

Assim, os programas de *compliance* se apresentam com mecanismos e ferramentas aptos a efetivar a letra da lei e, para além dos requisitos legais, buscar a melhoria contínua da atividade, com base em valores e princípios éticos.

Desse modo, a implementação de uma cultura de *compliance* em uma atividade tão relevante e ao mesmo tempo tão impactante quanto a mineração pode ser um caminho viável na busca pelo, tão aparentemente utópico, desenvolvimento sustentável.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 37301**: Sistemas de Gestão de Compliance – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro. 2021, ABNT, 2021

BARBOSA, M. S. **Compliance ambiental**. 2018. Disponível em: [http://www.lex.com.br/doutrina\\_24923022\\_compliance\\_ambiental.aspx](http://www.lex.com.br/doutrina_24923022_compliance_ambiental.aspx). Acesso em 02 dez. 2018. p. 01.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 5 jun. 2019. BRASIL.

BRASIL. **Decreto-lei nº 227**, de 28 de fevereiro de 1967. Brasília: Presidência da República. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/Del0227compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del0227compilado.htm). Acesso em: 10 out. 2019.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 5.442/2019**, de 09 de outubro de 2019. Regulamenta os programas de conformidade ambiental e dá outras disposições. Brasília: Câmara dos Deputados, 2019. Disponível em: [https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarintegra;jsessionid=node01dh-qhsi9nestg9qdmj7gkrbb2506649.node0?codteor=1818737&filename=PL+5.442/2019](https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=node01dh-qhsi9nestg9qdmj7gkrbb2506649.node0?codteor=1818737&filename=PL+5.442/2019). Acesso em: 03 jan. 2020.

CANADÁ. Natural Resources. **Sustainable development of minerals and metals**: prepared in connection with Canada's

participation at the meeting of the United Nations Commission on Sustainable Development, April 1997 / Prepared by Natural Resources Canada. Disponível em: <<http://publications.gc.ca/site/eng/67374/publication.html>>. Acesso em: 5 fev. 2019.

DOMINGOS, I. M. N.; BLANCHET, L. A. **Programas de compliance e a responsabilidade da empresa na fase de pós-consumo de lixo eletrônico**. Belo Horizonte: Veredas do Direito, v. 16, n. 35, p. 269-295, maio/ago. 2019. FILHO, E. F. S.; LEITE, P. P. A.; MARTINS, J. A. M. Ética empresarial como base de sustentação do programa de compliance: uma breve análise sobre a ética, a integridade e o compliance. **Relações Internacionais no Mundo Atual**, [S.l.], v. 2, n. 23, p. 99 - 125, abr. 2019. ISSN 2316-2880. Disponível em: <<http://revista.unicuritiba.edu.br/index.php/RIMA/article/view/3891/371372223>>. Acesso em: 3 jun. 2021.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. **Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados**. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cebape/a/hvbYDBH5vQFD6zfjC9zHc5g/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 29 ago. 2021.

FREIXO, M. J. V. **Metodologia Científica: fundamentos, métodos e técnicas**. 2. ed. Lisboa: Instituto Piaget, 2010.

GASPARETTO, P. R.; RIBAS, F. S.; JUNIOR, A. C. **A importância do compliance ambiental para as empresas**. Interface entre governança corporativa e impactos socioambientais. Rio de

Janeiro, RJ. 2017. Disponível em: <<http://www.ufrjr.br/SEER/index.php?journal=RJEDSD&page=article&op=view&path%5B%5D=3908>>. Acesso em: 12 mai. 2019.

GOMES, M. F.; OLIVEIRA, W. R. A efetivação do compliance ambiental diante da motivação das certificações brasileiras. **Revista de Direito da Faculdade Guanambi**, v. 4, n. 1, janeiro-junho 2017. Disponível em <<https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/RDFG/article/view/13877/7608>> Acesso em: 14 nov. 2018.

GUIMARÃES, P. B. V.; JESUS, M. M. G. A justiça intergeracional ambiental na produção minerária brasileira. Belo Horizonte: **Veredas do Direito**, v. 14, n. 30, p. 243-268, set./dez. 2017. Disponível em: <<http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/1106>>. Acesso em: 03 fev. 2019

GIRUNDI, D.; FREITAS, R.; CASTRO, C., 2021. **Vale assina acordo de R\$ 37,68 bilhões para reparar tragédia de Brumadinho**. G1, Belo Horizonte, 04/02/2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2021/02/04/vale-assina-acordo-bilionario-de-r-3768-bilhoes-para-reparar-danos-causados-em-brumadinho.ghtml>>. Acesso em: 01 out. 2021.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Laudo técnico preliminar: impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem “do Fundão”, em Mariana – Minas Gerais**, nov. 2015 disponível em <<https://www.ibama.gov.br/phocadown->

load/barragemdefundao/laudos/laudo\_tecnico\_preliminar\_Ibama.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2019

RIZÉRIO, L. **Vale cai 24% e perde R\$ 72 bilhões de valor após tragédia em Brumadinho; ação da Ambev dispara 4% e Petrobras cai 3%**. InfoMoney, 28/01/2019, Disponível em: <<https://www.infomoney.com.br/mercados/acoes-e-indices/noticia/7889643/vale-cai-20-apos-tragedia-em-brumadinho-confira-os-destaques-do-mercado>>. Acesso em: 12 mai. 2019.

JUNIOR, A.R.J. **Direito Ambiental Minerário**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2013.

LAMEGO, L.P. Recuperação de áreas degradadas pela mineração e gestão ambiental do fechamento de minas. In.: GONÇALVES, A. I.; BURMANN, A.; ANTUNES, P.B. (Coords.) **Direito Ambiental e os 30 anos da Constituição de 1988**. Londrina: Thoth, 2018.

MILARÉ, E. **Direito do ambiente**. 11. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2018.

MILLER, G. P. **The compliance function: an overview**. New York University Law and Economics Working Papers. Paper 393. PP. 1-19. 2014 Disponível em: <[http://www.law.nyu.edu/sites/default/files/upload\\_documents/The%20Compliance%20Function%20an%20Overview.Miller.pdf](http://www.law.nyu.edu/sites/default/files/upload_documents/The%20Compliance%20Function%20an%20Overview.Miller.pdf)>. Acesso em: 29 out. 2019.

OLIVEIRA, M. L; COSTA, B. S.; SILVA, C. F. P. **O instituto do compliance ambiental no contexto da sociedade pluris-**

**sistêmica.** Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/SEER/index.php?journal=RJEDSD&page=article&op=view&path%5B%5D=3908&path%5B%5D=2509>> Acesso em: 25 abr. 2019.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Atlas:** mapeando os objetivos de desenvolvimento sustentável na mineração. ago./2017. Disponível em: <[https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/publications/Mining%20Atlas%20Vers%C3%A3o%20Final\\_Lan%C3%A7amento\\_Portuguese.pdf](https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/publications/Mining%20Atlas%20Vers%C3%A3o%20Final_Lan%C3%A7amento_Portuguese.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2021.

RAFUL, N. F.; JUCHEM, D. M.; CAVALHEIRO, M. E. **Revista Gestão Industrial**, v. 6, n. 2. Ponta Grossa, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/572/480>> Acesso em: 12 mai. 2019.

SION, A. O; Compliance ambiental e critérios ESG. In: FRANÇA, L.G.; SION, A. O. (coords). **ESG: novas tendências do direito ambiental.** 1 ed. Rio de Janeiro: Sinergya, 2021.

SEGAL, R.L. Compliance ambiental na gestão empresarial: distinções e conexões entre *compliance* e auditoria de conformidade legal. **Revista on-line IPOG.** 2018. Disponível em: <<https://ipog.edu.br/wp-content/uploads/2020/11/jose-pierddos-santos-4117131.pdf>>. Acesso em: 07 fev.2019.

THOMÉ, R. **Manual de Direito Ambiental.** 8. ed. Salvador: JusPodivm, 2018.

TRENNEPOHL, N. Incentivos ao compliance ambiental: a caminho da sustentabilidade. In: TRENNEPOHL, T; TRENNEPOHL, N. (Coords). **Compliance no Direito Ambiental**. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2020.



ORGANIZADOR

---

## Jean Leite Tavares

Possui graduação em Engenharia Civil (1998), Mestrado em Engenharia Sanitária/Recursos Hídricos pela Universidade Federal da Paraíba (Campina Grande - 2000) e Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos (Fortaleza - 2014 - Conceito CAPES: 6). É professor efetivo da Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - IFRN, *campus* Natal - Central nos Cursos de Engenharia Sanitária e Ambiental, Gestão Ambiental, Controle Ambiental e do Mestrado em Uso Sustentável dos Recursos Naturais.



Tipografias utilizadas:  
Crimson pro  
Poppins

-

Todos os direitos são reservados à Editora IFRN, não podendo ser comercializado em período de contrato de cessão de direitos autorais.

O livro reúne pesquisas realizadas no âmbito do Mestrado Profissional em Uso Sustentável dos Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (PPgUSRN/IFRN), criado em 2015 e herdeiro da tradição do IFRN na aplicação da ciência com foco na solução de problemas reais e na melhoria da qualidade de vida da população. O PPgUSRN conta com duas grandes linhas de pesquisa: saneamento e sustentabilidade.

Os trabalhos apresentados no presente volume foram selecionados por além de abrangerem a grande área das ciências ambientais, têm conteúdos transversais e interdisciplinares e recebem as influências da diversidade da formação dos professores e discentes envolvidos, além de dialogarem com os diversos setores da sociedade e isso traz reflexos diretos também na variedade das temáticas abordadas.

As temáticas ambientais abordadas estão relacionadas às demandas da própria comunidade. As práticas apresentadas no livro intitulado "TÓPICOS PARA O FORTALECIMENTO DA SUSTENTABILIDADE NO RIO GRANDE DO NORTE: EDUCAÇÃO AMBIENTAL, AÇÕES ADAPTAVIAS E DE GESTÃO" têm o intuito principal de trazer modelos de sustentabilidade que podem adaptados ou melhorados de acordo com as condições para o desenvolvimento de novos trabalhos.

Sob a ótica pós-pandemia do COVID-19, novos rumos políticos e econômicos adotados no país e tomando como base os objetivos do desenvolvimento sustentável, as pesquisas do PPgUSRN ora apresentadas retratam um momento importante, de construção conjunta de conhecimentos com foco na solução de problemas reais e na melhoria da qualidade de vida da população.

O fortalecimento da Pesquisa no âmbito dos Institutos Federais passa pela divulgação de trabalhos e estudos de alto nível desenvolvidos nos diferentes campi. Daí o agradecimento e os parabéns porque e são fundamentais ações como esta, de iniciativa da Editora do IFRN, para o fortalecimento dos programas de pós-graduação *stricto sensu* da nossa instituição.

ISBN 978-85-8333-298-5



9 788585 332985 >

