FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS
ESCOLA DE DIREITO DO RIO DE JANEIRO
FGV DIREITO RIO

VICTOR HUGO HENRIQUES TINOCO MACHADO

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E EXPERIMENTALISMO:
SANDBOX REGULATÓRIO NO MERCADO DE HIDROGÊNIO VERDE

RIO DE JANEIRO
2025

VICTOR HUGO HENRIQUES TINOCO MACHADO

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E EXPERIMENTALISMO: SANDBOX REGULATÓRIO NO MERCADO DE HIDROGÊNIO VERDE

Trabalho apresentado à Escola de Direito do Rio de Janeiro da Fundação Getúlio Vargas para obtenção do grau de mestre.

Área de concentração: Direito da Regulação.

Linha de Pesquisa: Economia, Intervenção e Estratégias Regulatórias.

Orientador: Rômulo Sampaio.

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro da Fundação Getúlio Vargas.

Rio de Janeiro

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas/FGV

Machado, Victor Hugo Henriques Tinoco

Transição energética e experimentalismo: sandbox regulatório no mercado de hidrogênio verde / Victor Hugo Henriques Tinoco Machado. -- 2025.

136 f.

Dissertação (mestrado) - Escola de Direito do Rio de Janeiro da Fundação Getulio Vargas.

Orientador: Rômulo Sampaio.

Inclui bibliografia.

1. Direito regulatório. 2. Governança. 3. Energia limpa. 4. Transição energética. 5. Hidrogênio verde. I. Sampaio, Rômulo Silveira da Rocha II. Escola de Direito do Rio de Janeiro da Fundação Getulio Vargas. III. Título.

CDD – 341.3444

Elaborada por Maria do Socorro Almeida – CRB-7/4254

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS
ESCOLA DE DIREITO DO RIO DE JANEIRO
MESTRADO ACADÊMICO EM DIREITO DA REGULAÇÃO
FOLHA DE APROVAÇÃO

VICTOR HUGO HENRIQUES TINOCO MACHADO

"TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E EXPERIMENTALISMO: SANDBOX REGULATÓRIO NO MERCADO DE HIDROGÊNIO VERDE".

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO CURSO DE DIREITO DA REGULAÇÃO QUE CONFERIU O GRAU DE MESTRE EM DIREITO DA REGULAÇÃO.

DATA DA DEFESA: 20/02/2025

ASSINATURA DOS MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA

PRESIDENTE DA COMISSÃO EXAMINADORA: PROF. RÔMULO SILVEIRA DA ROCHA SAMPAIO

<ASSINADO ELETRONICAMENTE>
PROF. RÔMULO SILVEIRA DA ROCHA SAMPAIO
ORIENTADOR

<ASSINADO ELETRONICAMENTE>
PROFª PATRICIA REGINA PINHEIRO SAMPAIO
MEMBRO INTERNO - FGV DIREITO RIO

<ASSINADO ELETRONICAMENTE>
PROF. PATRICIA FERREIRA BAPTISTA
MEMBRO EXTERNO - UERJ

RIO DE JANEIRO, 20 DE FEVEREIRO DE 2025.

<ASSINADO ELETRONICAMENTE>
PROF. FERNANDO ÂNGELO RIBEIRO LEAL
COORDENADOR

<ASSINADO ELETRONICAMENTE>
PROF. ANTONIO DE ARAUJO FREITAS JUNIOR
PRÓ-REITOR DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

ESTE É UM TRABALHO ORIGINAL ONDE FOI VERIFICADA A NÃO EXISTÊNCIA DE PLÁGIO E DE UTILIZAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, NÃO EXPLICITADA, NO CORPO DO TRABALHO ATESTADO PELO ALUNO(A) E ORIENTADOR(A). ESTE DOCUMENTO NÃO CONFERE TÍTULO. PARA TAL DEVERÃO SER CUMPRIDOS OS REQUISITOS DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO.

D4Sign d97b354c-f79e-4e5b-8019-c15ca25455a9 - Para confirmar as assinaturas acesse https://secure.d4sign.com.br/verificar
Documento assinado eletronicamente, conforme MP 2.200-2/01, Art. 10º, §2.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho representa a conclusão de uma etapa desafiadora e transformadora, marcada por aprendizados, superações e reflexões. Ao longo deste mestrado em Direito Regulação pela FGV Direito Rio, tive o privilégio de contar com o apoio, o amor e a inspiração de pessoas que caminharam ao meu lado e foram essenciais para que este momento se tornasse realidade.

Agradeço primeiramente à minha mãe, Ana Beatriz Tinoco, que sempre foi minha maior força e exemplo. Matriarca da nossa família, você me ensinou sobre resiliência, generosidade e a importância de manter os pés firmes, mesmo nos terrenos mais incertos. Obrigado por me inspirar todos os dias e por acreditar em mim, mesmo quando eu duvidava.

Ao meu saudoso pai, Rubens Tinoco, que, embora não esteja mais fisicamente conosco, segue presente em cada decisão e conquista da minha vida. Seu exemplo de inteligência, sabedoria e determinação é um farol que ilumina meu caminho. Espero honrar seu exemplo e ensinamentos.

Às minhas irmãs, Ana Luiza, Ana Carolina e Ana Elisa, minha base em todos os momentos, bons ou ruins. Ana Luiza, você sempre foi uma guia acadêmica e me incentivou a olhar além do que parecia possível. Ana Carolina, suas palavras objetivas e certeiras foram um conforto em momentos de dificuldade. Ana Elisa, obrigada por ser minha amiga e confidente em tantos momentos da minha jornada. Vocês são minhas maiores aliadas, e devo muito a cada uma.

À minha namorada e companheira, Maria Izabel, meu amor e minha gratidão são gigantes. Você trouxe leveza, alegria e uma força indescritível para minha jornada. Obrigado por caminhar ao meu lado, me apoiar incondicionalmente e me mostrar que desafios são mais fáceis de enfrentar com a sua cumplicidade.

Agradeço também ao meu orientador, Professor Rômulo Sampaio, por seu compromisso, generosidade e pela orientação cuidadosa ao longo deste trabalho e durante o estágio docente em Direito Ambiental. Seu rigor acadêmico e suas provocações intelectuais foram fundamentais para que esta dissertação atingisse o nível de profundidade que eu almejava.

Aos meus colegas de trabalho do Machado Meyer Advogados, deixo um agradecimento especial. Maria Fernanda Soares, Raphael Barboza Correia e Mariana Campos, nossas discussões e contribuições, além de todo o meu aprendizado prático no dia a dia de escritório, foram valiosas para a construção de ideias e para ampliar minha visão sobre o tema desta pesquisa. Obrigado pela parceria e por tantas conversas enriquecedoras.

Não poderia deixar de agradecer aos meus colegas de trincheira, da turma 2023.1 do Mestrado em Direito da Regulação. Sempre me contaram que amizades frutos de momentos desafiadores são as mais verdadeiras. Deixo um agradecimento especial para meus irmãos de desafios nesses dois últimos anos, Caroline Batista e Gustavo Parma, por todos os desabafos, discussões, risadas e choros nesse período intenso.

Por fim, agradeço à FGV Direito Rio, que proporcionou um ambiente acadêmico de excelência, e a todos os professores e colegas que fizeram parte dessa jornada.

Este trabalho é uma pequena parte de tudo que construímos juntos, e minha gratidão é imensa. Cada palavra desta dissertação carrega um pouco do que recebi de cada um de vocês. Muito obrigado.

"*Climate change is here, it is terrifying, and it is just the beginning. The era of global warming has ended; the era of global boiling has arrived*."
(António Guterres, Secretário Geral da ONU, julho de 2023).

"*The need to reduce greenhouse gas emissions is more urgent than ever before. Climate action is not a luxury but a must*.".
(Petteri Taalas, Secretário Geral da Organização Meteorológica Mundial, julho de 2023).

RESUMO

O presente trabalho analisa a aplicabilidade da metodologia de Sandbox Regulatório no contexto do mercado emergente de hidrogênio verde no Brasil. O estudo parte da identificação do hidrogênio verde como uma alternativa estratégica no âmbito da transição energética global, dada sua capacidade de descarbonizar setores de difícil abatimento de emissões. Ao mesmo tempo que o Brasil apresenta vantagens competitivas naturais e uma matriz energética predominantemente renovável, o mercado nacional ainda enfrenta desafios relacionados à ausência de um arcabouço regulatório robusto, altos custos de produção e incertezas institucionais. A problemática abordada pelo trabalho é se a metodologia de Sandbox Regulatório é adequada e justificada para uso pelo ente regulador para endereçar esses desafios, considerando as características atuais do setor no Brasil. Parte-se da hipótese de que, embora a metodologia de Sandbox Regulatório seja promissora em contextos de inovação disruptiva e mercados embrionários, sua aplicação ao hidrogênio verde no Brasil apresenta fragilidades jurídicas e técnicas, dada o perfil consolidado dos agentes envolvidos. Para o desenvolvimento da análise, a pesquisa utilizou uma abordagem qualitativa e dedutiva, fundamentada em uma análise documental e bibliográfica. O trabalho explora as principais experiências internacionais dessa metodologia, na União Europeia, pioneira no uso de Sandboxes. Também examina iniciativas da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em projetos regulatórios experimentais, como o Projeto Poço Transparente, e avalia o mercado brasileiro de hidrogênio verde à luz das demandas regulatórias e econômicas. A análise conclui que, apesar de não haver impedimentos jurídicos para o uso do Sandbox Regulatório, sua aplicação ao mercado de hidrogênio verde brasileiro carece de uma justificativa técnica clara. O setor já conta com empresas consolidadas e recursos financeiros significativos, o que mitiga a necessidade de flexibilizações regulatórias típicas de ambientes experimentais. Além disso, o risco de criar falhas de mercado, como concentração econômica e insegurança jurídica, torna o uso do instrumento pouco recomendável, existindo alternativas já implementadas pela ANP em outros contextos similares. O estudo, portanto, contribui para o debate acadêmico e institucional ao questionar o uso indiscriminado de ferramentas experimentais em setores estratégicos, sugerindo que sua aplicação deve ser criteriosa e subsidiada por diagnósticos técnicos e econômicos aprofundados. Ele destaca, ainda, a importância de políticas públicas coordenadas e planejadas para maximizar o potencial do hidrogênio verde na transição energética do Brasil.

Palavras-chave: Direito da Regulação; Governança Regulatória, Avaliando a Regulação; Hidrogênio Verde; Transição Energética.

ABSTRACT

This study analyzes the applicability of the Regulatory Sandbox methodology in the context of the emerging green hydrogen market in Brazil. It begins by identifying green hydrogen as a strategic alternative within the global energy transition, given its ability to decarbonize hard-to-abate sectors. However, while Brazil benefits from natural competitive advantages and a predominantly renewable energy matrix, its domestic market still faces challenges related to the absence of a robust regulatory framework, high production costs, and institutional uncertainties. The central issue addressed is whether the Sandbox Methodology is appropriate and justified for use by the regulatory authority to tackle these challenges, considering the current characteristics of the sector in Brazil. The hypothesis assumed is that, although the Regulatory Sandbox methodology holds promise in contexts of disruptive innovation and nascent markets, its application to green hydrogen in Brazil presents legal and technical weaknesses due to the established profile of the agents involved. To develop this analysis, the research employed a qualitative and deductive approach, grounded in documentary and bibliographic analysis. The study explores key international experiences with this methodology, focusing on the European Union, a pioneer in the use of Sandboxes. It also examines initiatives by the Brazilian National Agency for Petroleum, Natural Gas, and Biofuels (ANP) in experimental regulatory projects, such as the Project Poço Transparente, and evaluates the Brazilian green hydrogen market in light of regulatory and economic demands. The analysis concludes that, although there are no legal impediments to the use of the Regulatory Sandbox, its application to the Brazilian green hydrogen market lacks a clear technical justification. The sector is already characterized by established companies and significant financial resources, reducing the need for regulatory flexibilities typical of experimental environments. Furthermore, the risk of creating market failures, such as economic concentration and legal uncertainty, makes the use of this instrument less advisable, with alternative approaches already implemented by the ANP in similar contexts. This study thus contributes to academic and institutional debates by questioning the indiscriminate use of experimental tools in strategic sectors, suggesting that their application should be careful and supported by thorough technical and economic diagnostics. It also underscores the importance of coordinated and well-planned public policies to maximize the potential of green hydrogen in Brazil's energy transition.

Keywords: Regulatory Law; Regulatory Governance, Evaluating Regulation; Green Hydrogen; Energy Transition.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGU	Advocacia-Geral da União
AIR	Análise de Impacto Regulatório
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ARR	Avaliação de Resultado Regulatório
BCB	Banco Central do Brasil
CADE	Conselho Administrativo de Defesa Econômica
CESB	Comitê Estratégico de Gestão do *Sandbox* Regulatório
CMN	Conselho Monetário Nacional
CNJ	Conselho Nacional de Justiça
CRFB	Constituição da República Federativa do Brasil
CVM	Comissão de Valores Mobiliários
ERS	*Enhanced Regulatory Sandbox*
FCA	*Financial Conduct Authority*

FGV	Fundação Getulio Vargas
IA	Inteligência Artificial
IN	Instrução Normativa
Lei do Hidrogênio	Lei nº 14.948/2024
LIFT	Laboratório de Inovação Financeira do Banco Central do Brasil
LLE	Lei da Liberdade Econômica
LINDB	Lei de Introdução às Normas do Direito Brasileiro
MAS	*Monitory Authority of Singapore*
MLS	Marco Legal das *Startups*
MP	Medida Provisória
STF	Supremo Tribunal Federal
STJ	Superior Tribunal de Justiça
SUSEP	Superintendência de Seguros Privados
TCU	Tribunal de Contas da União
TRF-1	Tribunal Regional Federal da 1ª Região
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS 10

1. INTRODUÇÃO 7

1.1. Justificativas e relevância da pesquisa 14

2. A PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL NO CONTEXTO DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA 16

2.1. CRISE CLIMÁTICA E O IMPERATIVO DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA .. 17

2.2. A IMPORTÂNCIA DO HIDROGÊNIO PARA A INDÚSTRIA E A NECESSIDADE DE TRANSFORMAÇÃO DO SEU PROCESSO PRODUTIVO 22

2.3. O MERCADO DO HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL E O PAPEL DA REGULAÇÃO PARA O INCENTIVO DA SUA PRODUÇÃO 31

2.4. ARCABOUÇO LEGAL E INSTITUCIONAL PARA O INCENTIVO PARA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO NO BRASIL 39

2.5. A REGULAMENTAÇÃO DO MARCO LEGAL DO HIDROGÊNIO VERDE 44

3. O SANDBOX REGULATÓRIO NO MARCO LEGAL DO HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL 47

3.1. CONCEITO E MODELAGEM DO SANDBOX REGULATÓRIO 48

3.2. RISCOS E BENEFÍCIOS DO USO DE SANDBOXES NA REGULAÇÃO 61

3.3. PONTOS CRÍTICOS PARA A APLICABILIDADE NO SETOR DE ENERGÉTICO 71

3.4. ANÁLISE HISTÓRICO-NORMATIVA DOS SANDBOXES REGULATÓRIOS NO BRASIL 74

3.5. CASOS DE APLICAÇÃO DE EXPERIMENTALISMO PELA AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS 85

3.5.1. PROJETO POÇO TRANSPARENTE 86

3.5.2. PROJETO PILOTO DELIVERY DE COMBUSTÍVEIS 91

3.5.3. PROJETO PILOTO DE BIOMETANO 97

4. AVALIAÇÃO CRÍTICA DA ADEQUAÇÃO DO SANDBOX REGULATÓRIO NO MARCO LEGAL DO HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL 103

4.1. DESAFIOS REGULATÓRIOS E INCERTEZAS DO SETOR DE HIDROGÊNIO VERDE 104

4.2. ALTERNATIVAS REGULATÓRIAS VIÁVEIS PARA A REGULAÇÃO DO HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL 114

4.3. ANÁLISE DA APLICABILIDADE DO SANBOX REGULATÓRIO NO SETOR DE HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL 117

5. CONCLUSÃO 127

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 129

1. INTRODUÇÃO

Toda solução simples, para um problema complexo, é invariavelmente errada. Essa frase é uma paráfrase do pensamento de Karl Popper, que advogou em seus trabalhos pela complexidade e o caráter provisório do conhecimento científico. Ele destacou em diversos trechos que, ao resolver problemas, devemos estar atentos às múltiplas dimensões envolvidas e ao risco de adotar soluções simplistas, que não capturam a totalidade dos desafios.[1]

Todos os desafios relacionados com o mercado energético são complexos.[2] Qualquer modificação regulatória ou normativa conectada com esse setor precisa ser intensamente debatida e estudada antes de ser implementada, para evitar causar impactos duradouros.[3]

Esse contexto se torna ainda mais desafiador devido a crise climática enfrentada a nível global, que impulsiona a necessidade de uma transição energética para fontes energéticas sustentáveis. Algumas soluções para produção de insumos energéticos sustentáveis têm sido desenvolvidas, como a produção de hidrogênio de baixa emissão de gases estufa, para endereçar esses desafios. Dentre eles, o hidrogênio verde[4] tem tomado evidência nos fóruns energéticos[5], comumente atribuído a produção do hidrogênio a partir da quebra da molécula da água pelo processo de eletrólise.

Para ser merecedor da etiqueta "verde", o hidrogênio precisa ser produzido a partir de uma fonte de energia renovável. Pela tecnologia atual, as energias solar e eólica são as fontes

---

[1] POPPER, Karl R. *Conjecturas e Refutações: O Desenvolvimento do Conhecimento Científico*. 5ª ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1982.

[2] ZINAMAN, O.; MILLER, Mackay; BAZILIAN, M. Evolving Role of the Power Sector Regulator: A Clean Energy Regulators Initiative Report. Clean Energy Regulatory Initiative (CERI), 2014. p. 02. ; e BELL, K.; GILL, S. Delivering a highly distributed electricity system: Technical, regulatory and policy challenges. Energy Policy, v. 113, p. 765-777, 2018, p. 769.

[3] BOLTON, Ronan; FOXON, T. Infrastructure transformation as a socio-technical process: Implications for the governance of energy distribution networks in the UK. Technological Forecasting and Social Change, v. 90, p. 538-550, 2015.

[4] Como será descrito ao longo o Capítulo 2 do presente trabalho, o hidrogênio pode ser produzido a partir de diversos "caminhos", que alguns estudos separam por meio de cores. Dependendo da emissão de carbono e metodologia de produção, as cores são atribuídas. Alguns exemplos além do hidrogênio verde seriam o hidrogênio branco (H2 produzido a partir de reservatórios naturais), hidrogênio cinza (H2 produzido a partir da reforma de gás natural) e hidrogênio azul (H2 produzido a partir da reforma de gás natural, com tecnologia de captura de emissões de carbono – CCS, para reduzir as emissões). Para aprofundamento na temática: M. Noussan, P.P. Raimondi, R. Scita, M. Hafner, The role of green and blue hydrogen in the energy transition – a technological and geopolitical perspective, Sustainability. 2021; e BRASIL, Programa Nacional do Hidrogênio, Proposta de Diretrizes. 2021. Acesso em: 10/12/2023, disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-nacional-do-hidrogenio-1

[5] SENA, Fabiola. Hidrogênio verde na transição energética: desafios regulatórios. *EPBR*, 21 jul. 2023. Disponível em: https://epbr.com.br/hidrogenio-verde-na-transicao-energetica-desafios-regulatorios/. Acesso em: 02 out. 2024; e MESMO dependente do óleo, Brasil emerge como potencial liderança em hidrogênio. *EPBR*, 20 dez. 2023. Disponível em: https://epbr.com.br/mesmo-dependente-do-oleo-brasil-emerge-como-potencial-lideranca-em-hidrogenio/. Acesso em: 02 out. 2024.

principais para geração de energia elétrica necessária à quebra da molécula de H_2O em moléculas de hidrogênio e oxigênio. Nesse processo químico, o oxigênio seria liberado na atmosfera, enquanto o hidrogênio seria obtido por um processo renovável, sem emissões.

A molécula do hidrogênio é relevante para a matriz energética mundial por diferentes motivos. Hidrogênio é a solução para problemas logísticos relacionados com a produção de energia renovável. Em que pese o avanço das tecnologias relacionadas com a produção de energia renovável, como a energia eólica e solar, esses processos ainda são altamente dependentes de localização geográfica específica e condições climáticas. Essas dependências impõem desafios relacionados com o tempo da produção e o tempo da demanda de tais energias elétricas renováveis, que podem não coincidir.[6]

Por conta desses desafios de cadeia, tecnologias relacionadas ao armazenamento de tais energias produzidas, e sua posterior logística de entrega, atuam de forma chave no setor, como no caso das baterias. Mesmo assim, ainda existem limitações tecnológicas e físicas relacionadas com o desenvolvimento e utilização de baterias, o que torna o hidrogênio uma solução chave.[7]

O hidrogênio é uma molécula de alta densidade energética, que poderia ser transportada após sua produção, servindo não somente como um armazenamento energético (como as baterias), mas para outros propósitos, como combustível para veículos, indústrias e até mesmo calefação residencial. Existem autores que atribuem essa solução a alcunha de "revolução do hidrogênio verde", que apresentaria todas essas utilidades, mas com uma baixa emissão de gás carbono.[8]

Em razão da recente popularidade do desenvolvimento de projetos do tipo, âmbito internacional, o mercado brasileiro não ficou para trás. O quadro nacional de oferta e demanda

---

[6] VIEIRA, H. M. S. B.; FERREIRA, L. F. S.; DA SILVA, W. B. Estudo da Viabilidade e Inserção do Hidrogênio Verde como Fonte de Energia no Brasil. São Paulo: USP, 2022. Disponível em: https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/56a5a166-8b7b-4935-968f-14d516ea23b2/Huam%C3%A3-LuizFelipe-WellingtonTF24.pdf. Acesso em: 02 out. 2024; SILVA, B. E. M. Potencial do hidrogênio verde no Brasil frente aos desafios da alta integração de fontes renováveis ao Sistema Interligado Nacional. Recife: UFPE, 2024. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/57858/1/TCC_Brenda%20Estefany_VF.pdf. Acesso em: 02 out. 2024; e BEZERRA, F. D. Hidrogênio verde: nasce um gigante no setor de energia. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2021. Disponível em: https://bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1109/1/2021_CDS_212.pdf. Acesso em: 02 out. 2024

[7] GURLIT, Wieland; GUILLAUMON, João; AUDE, Marcelo; CEOTTO, Henrique. Hidrogênio verde: uma oportunidade de geração de riqueza com sustentabilidade, para o Brasil e o mundo. McKinsey & Company, [online], 25 nov. 2021. Disponível em: https://www.mckinsey.com/br/our-insights/hidrogenio-verde-uma-oportunidade- de-geracao-de-riqueza-com-sustentabilidade-para-o-brasil-e-o-mundo#/. Acesso em: abril 2024.

[8] SQUADRITO; Gaetano, MAGGIO; Gaetano e NICITA, Agatino. The green hydrogen revolution. Renewable Energy, Volume 216, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148123009552>, acesso em: abril de 2024; e ISLAM, A.; ISLAM, T.; MAHMUD, H.; RAIHAN, O. Accelerating the green hydrogen revolution: A comprehensive analysis of technological advancements and policy interventions. *International Journal of Hydrogen Energy*, Elsevier, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319924014150. Acesso em: 2 out. 2024.

pela produção de hidrogênio verde é marcado por Memorandos de Entendimento e por declarações de mercado, com poucas exceções, estando esse mercado em um ponto de transição chave, já tendo altos comprometimentos financeiros privados, mas ainda dependente de soluções para o desenvolvimento de projetos[9]. Atualmente, existem três principais promessas de centros de produção de hidrogênio verde no Brasil, que seriam os "*hubs*" de produção nos portos de Pecém (CE), Suape (PE) e Açu (RJ), com Memorandos de Entendimento e declarações de intenção de investimentos somando mais de R$ 30 bilhões.[10]

Diversos são os fatores que prejudicam a oferta e a demanda pelo hidrogênio verde. À nível internacional, a não existência de estândares internacionais relacionados com as especificações técnicas necessárias para uma produção sustentável ser considerada produção de hidrogênio verde é um dos fatores mais relevantes. A falta de especificações é um dos fatores que causou, durante os últimos anos, a ausência de segurança jurídica para a existência de uma maior demanda para a implantação de projetos de hidrogênio verde, que necessitam de altos investimentos iniciais, geralmente baseados em contratos de longo prazo para garantir seus financiamentos, os *offtake agreements* ou *offtake contracts*.[11]

A parcial reversão desse entrave ocorreu em 20 de junho de 2023, com a publicação pela União Europeia de duas Diretivas, que estabeleceram a metodologia europeia para definição do que seria hidrogênio sustentável, no contexto do continente europeu.[12] Essa

---

[9] As exceções citadas são os projetos de produção de hidrogênio Verde das empresas White Martins e Unigel. Segundo notícias jornalísticas, a White Martins já estaria com uma planta operacional de produção de hidrogênio verde em Pernambuco, com a produção anual de ao menos 156 toneladas de hidrogênio verde. Além disso, a Unigel estaria em estágios avançados de construção de uma planta no polo industrial de Camaçari, na Bahia. Para maior aprofundamento sobre o assunto: Unigel e White Martins tem os projetos mais adiantados de H2V. Revista OE. 12 de abril de 2024. Disponível em: <https://revistaoe.com.br/unigel-e-white-martins-tem-os-projetos-mais-adiantados-de-h2v/>, acesso em: 09 de junho de 2024.

[10] Para maior aprofundamento na temática: FERNANDES, Glaucia; et al. Panorama dos Desafios do Hidrogênio Verde no Brasil. FGV ENERGIA, Coluna Opinião, janeiro de 2023. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/opiniao_artigo_hidrogenio_verde_matriz.pdf>, acesso em: 09 de junho de 2024.

[11] Os *offtake contracts* são um tipo de acordo comercial utilizado no contexto de financiamento de projeto. Em geral, são contratos estabelecidos entre um produtor de determinado bem ou serviço e um comprador, no qual este último se compromete a adquirir uma quantidade específica desse bem ou serviço a um preço acordado em um período futuro. Esses contratos são frequentemente utilizados como mecanismo de financiamento para projetos de infraestrutura, que normalmente dependem de recebíveis assegurados como garantia para financiadores. Ao assegurar uma demanda garantida pelo produto ou serviço que o projeto irá fornecer, os *offtake contracts* oferecem previsibilidade quanto à geração de receitas e à viabilidade econômica do empreendimento. Eles podem ser estruturados de diferentes formas, como contratos de compra de longo prazo, contratos de *take-or-pay* (em que o comprador se compromete a pagar por uma determinada quantidade do bem, independentemente de sua utilização) ou contratos de tarifa fixa. Para aprofundamento na temática: ENEI, José Virgilio Lopes. *Project f*inance: financiamento com foco em empreendimentos. São Paulo: Saraiva, 2007; HOFFMAN, Scott L. The law and business of international project finance 3rd. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008; e VINTER, Graham. Project finance: a legal guide. 2rd. ed. London: Sweet & Maxwell, 1998.

[12] Baumgart, M., & Lavrijssen, S. (2023). Exploring regulatory strategies for accelerating the development of sustainable hydrogen markets in the European Union. Journal of Energy & Natural Resources Law, v. 42, p. 137-

movimentação aqueceu o que pode ser chamado de "corrida do hidrogênio", que seriam países com potencial produtor ampliando seus planos de incentivo e estabelecimento de segurança jurídica suficiente para a produção do hidrogênio sustentável, visando a atração de investimentos estrangeiros privados.[13]

Mesmo assim, à nível nacional, a regulação da produção de hidrogênio verde ainda está em estágio embrionário. Desde 2022, o Conselho Nacional de Pesquisa Energética ("CNPE") editou a Resolução 6/2022, que estabeleceu o Programa Nacional do Hidrogênio ("PNH²"), com o objetivo de fortalecer o mercado e a indústria do hidrogênio enquanto vetor energético no Brasil, tendo como um de seus principais eixos, o desenvolvimento de um arcabouço legal e regulatório-normativo para o mercado de hidrogênio. Até então, pouco foi desenvolvido nesse âmbito.[14]

Um avanço foi a publicação, em 02 de agosto de 2024, da Lei 14.948/2024, que institui um marco legal para o hidrogênio de baixa emissão de carbono ("Lei do Hidrogênio"). Longamente discutida, por meio do Projeto de Lei 2.308/2023, a Lei do Hidrogênio estabelece: i) que o PNH² é um instrumento da Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono; ii) um regime especial de incentivos tributários e financeiros para a produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono; iii) a necessidade de autorização específica para produção de hidrogênio; iv) a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis ("ANP") como órgão regulador competente para o mercado de hidrogênio; v) a possibilidade da ANP utilizar o arranjo denominado sandbox regulatório para elaboração das normas regulatórias relacionadas com o mercado e a utilização de soluções individuais para atendimento a lei.[15]

Em que pese a relevância geral do estabelecimento de competências para a ANP e o regime especial de incentivos, a possibilidade de a ANP utilizar Sandbox Regulatório e soluções

---

166. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/02646811.2023.2257528?needAccess=true. Acesso em: 15 dez. 2024.

[13] Kalt, T., Simon, J., Tunn, J., & Hennig, J. (2023). Between green extractivism and energy justice: competing strategies in South Africa's hydrogen transition in the context of climate crisis. Review of African Political Economy, 50(302-321). Disponível em: https://www.scienceopen.com/hosted-document?doi=10.1080/03056244.2023.2260206. Acesso em: 15 dez. 2024; e Van de Graaf, T., Overland, I., Scholten, D., & Westphal, K. (2020). The new oil? The geopolitics and international governance of hydrogen. Energy Research & Social Science, 70, 101667. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629620302425?via%3Dihub. Acesso em: 15 dez. 2024.

[14] BRASIL. Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Resolução nº 6, de 14 de junho de 2022. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 15 jun. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/2022/res_cnpe-6-2022.pdf. Acesso em: 15 dez. 2024.

[15] BRASIL. Lei nº 14.948, de 10 de abril de 2024. Dispõe sobre as diretrizes para a promoção e regulamentação do mercado de hidrogênio no Brasil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 11 abr. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2024-2027/2024/lei/L14948.htm. Acesso em: 15 dez. 2024.

individualizadas para atendimento a lei, assim como para o estabelecimento de um arcabouço regulatório, chama a atenção, já que, desde 2022, nenhum processo regulatório concreto foi elaborado para o setor.

O Sandbox Regulatório, também chamado de ambiente regulatório experimental, é um tipo de metodologia regulatória utilizada desde 2019 no Brasil, regulamentada pela Lei Complementar n° 182/2021[16], definido como "conjunto de condições especiais simplificadas para que as pessoas jurídicas participantes possam receber autorização temporária dos órgãos ou das entidades com competência de regulamentação setorial para desenvolver modelos de negócios inovadores e testar técnicas e tecnologias experimentais, mediante o cumprimento de critérios e de limites previamente estabelecidos pelo órgão ou entidade reguladora e por meio de procedimento facilitado."

Pela Lei Complementar n° 182/2021, a ANP e outros órgãos com competência de regulação setorial já possuiriam a autorização legal para proceder com esse tipo de instrumento regulatório.[17] O que chama a atenção na disposição da Lei do Hidrogênio é a previsão expressa sugerindo o uso pela ANP dessa metodologia, em um contexto em que nenhum planejamento regulatório foi sequer considerado publicamente pela agência, desde a instituição do PNH^2, em 2022.

Não são apresentados no Projeto de Lei 2.308/2023, ou em nenhum documento preparatório da Lei do Hidrogênio, a motivação para o direcionamento de utilização dessa

---

[16] "*Art. 2º Para os efeitos desta Lei Complementar, considera-se: I - investidor-anjo: investidor que não é considerado sócio nem tem qualquer direito a gerência ou a voto na administração da empresa, não responde por qualquer obrigação da empresa e é remunerado por seus aportes; II -* ***ambiente regulatório experimental*** *(sandbox regulatório): conjunto de condições especiais simplificadas para que as pessoas jurídicas participantes possam receber autorização temporária dos órgãos ou das entidades com competência de regulamentação setorial para desenvolver modelos de negócios inovadores e testar técnicas e tecnologias experimentais, mediante o cumprimento de critérios e de limites previamente estabelecidos pelo órgão ou entidade reguladora e por meio de procedimento facilitado*." (GN) BRASIL. Lei Complementar nº 182, de 1º de junho de 2021. Institui o Marco Legal das Startups e do Empreendedorismo Inovador e altera a Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2 jun. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/Lcp182.htm. Acesso em: 15 dez. 2024.

[17] "*Art. 11. Os órgãos e as entidades da administração pública com competência de regulamentação setorial poderão, individualmente ou em colaboração, no âmbito de programas de ambiente regulatório experimental (sandbox regulatório), afastar a incidência de normas sob sua competência em relação à entidade regulada ou aos grupos de entidades reguladas. § 1º A colaboração a que se refere o caput deste artigo poderá ser firmada entre os órgãos e as entidades, observadas suas competências. § 2º Entende-se por ambiente regulatório experimental (sandbox regulatório) o disposto no inciso II do caput do art. 2º desta Lei Complementar. § 3º O órgão ou a entidade a que se refere o caput deste artigo disporá sobre o funcionamento do programa de ambiente regulatório experimental e estabelecerá: I - os critérios para seleção ou para qualificação do regulado; II - a duração e o alcance da suspensão da incidência das normas; e III - as normas abrangidas*." BRASIL. Lei Complementar nº 182, de 1º de junho de 2021. Institui o Marco Legal das Startups e do Empreendedorismo Inovador e altera a Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2 jun. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/Lcp182.htm. Acesso em: 15 dez. 2024

metodologia, em qual contexto ela deveria ser implementada ou qual seria a melhor forma de sua utilização.[18]

Essas lacunas de motivação e modelagem, em um contexto de apatia regulatória desde a edição do PNH2 se tornam relevantes, já que o Sandbox Regulatório, conforme citado, tem o condão de suspender a incidência de regras regulatórias estabelecidas somente para um grupo específico participante do ambiente regulatório experimental. Em um contexto da não existência de projetos maduros no Brasil da produção de hidrogênio verde, a implementação do Sandbox Regulatório sem qualquer estudo ou estratégia preparatória no estágio embrionário de mercado atual poderia gerar relevantes falhas de mercado, como o monopólio ou oligopólio da produção nacional pelo agente, ou grupo de agentes, que se enquadrar nos requisitos do ambiente regulatório experimental.

Dessa forma, o presente trabalho busca analisar a aplicabilidade do Sandbox Regulatório no contexto do mercado de hidrogênio verde brasileiro, considerando se existem óbices a viabilidade jurídica da metodologia e se existem motivos técnico regulatórios para o seu uso.

Para prosseguir com os objetivos de pesquisa do presente trabalho, foi adotada foi uma abordagem qualitativa, com método dedutivo. Inicialmente, a pesquisa foi concentrada na localização e análise da literatura nacional e internacional sobre o assunto e relatórios provenientes de organizações internacionais especializadas. Esta fase exploratória pretendeu oferecer uma visão aprofundada das práticas e políticas adotadas na União Europeia, onde os primeiros Sandbox Regulatórios foram implementados, permitindo uma visão compreensiva sobre a forma e contexto de implementação do instrumento, buscando experiências passadas nas quais ele tenha sido utilizado para projetos de inovação relacionados com energia renovável.

Em seguida, a segunda etapa da pesquisa consistiu em uma investigação do uso desse instrumento pela administração pública brasileira, buscando identificar quantas vezes e em quais contextos foi utilizado, focando no uso pela ANP. Esse exercício possibilitou identificar os requisitos e procedimentos que a administração pública brasileira utilizou para justificar e embasar os Sandbox Regulatórios, em comparação com o que a literatura internacional apresentada sobre a temática.

[18] Para os propósitos dessa afirmação, foram considerados os documentos dispostos no Projeto de Lei nº 2308/2023, disponível em https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2359608. Acesso em: 15 out. 2024.

Por fim, foi analizada a literatura relacionada com o fomento regulatório de mercados embrionários no setor energético, buscando uma correlação entre a produção de hidrogênio verde e a necessidade e forma de uso do sandbox regulatório pelo ANP de forma eficiente.

A hipótese de pesquisa é que, mesmo que existam características disruptivas inerentes da produção de insumos energéticos renováveis relacionados com transição energética, e não resida óbice jurídico para a utilização, não restaria aplicabilidade regulatória para essa metodologia no contexto do hidrogênio verde, em vista da ausência de motivações de ordem técnica, que não justificam a assunção dos riscos relacionados.

Diferente de outros contextos de utilização do Sandbox Regulatório, em muito relacionados com a inovação de modelos de negócio por empresas de pequeno porte, as empresas que demonstraram interesse no estabelecimento de projetos do tipo (*stakeholders*) já são companhias estabelecidas no mercado de energia e combustíveis, não necessitando de qualquer incentivo a inovação, como será desenvolvido no Capítulo 02 do presente trabalho. A obtenção de autorizações temporárias ou a garantia de condições especiais simplificadas poderia abriria margem para o desenvolvimento de falhas de mercado relevantes, em um setor de grande interesse econômico.

Para o desenvolvimento da hipótese apresentada neste trabalho, o primeiro capítulo buscará realizar uma análise detalhada do estado atual do mercado de hidrogênio verde no Brasil, situando-o no contexto mais amplo da transição energética. Nesse sentido, serão mapeados os principais projetos em desenvolvimento no país, como plantas de produção de hidrogênio verde, iniciativas de exportação e estratégias estaduais e federais para sua inserção no mercado global. Além disso, o capítulo identificará os principais *stakeholders*, incluindo órgãos reguladores, empresas privadas, instituições de pesquisa e organizações internacionais, destacando suas funções e interesses no fomento do setor. O capítulo também abordará as oportunidades que o hidrogênio verde representa para a descarbonização de setores intensivos em emissões, como transporte, indústria e geração de energia, e investigará as barreiras que ainda limitam o avanço do mercado, como custos de produção, lacunas na infraestrutura e incertezas regulatórias. Essa base inicial permitirá entender os desafios e oportunidades do mercado e contextualizar a necessidade – ou não – de ferramentas regulatórias específicas, como o Sandbox Regulatório.

O segundo capítulo será dedicado a explorar o conceito de Sandbox Regulatório, sua origem e sua aplicação em diferentes setores e jurisdições, com foco na transição energética e inovação regulatória. Primeiramente, serão discutidos os objetivos dessa ferramenta, que busca

promover inovação, ao permitir que agentes econômicos operem sob condições regulatórias flexibilizadas, e seus benefícios, como a aceleração do desenvolvimento tecnológico e a redução de barreiras burocráticas para novas soluções. Na sequência, será realizada uma análise crítica da aplicação de Sandbox Regulatório no setor de energia. Esse debate será fundamental para determinar se o uso de um *sandbox* é uma solução realmente inovadora ou se poderia gerar ineficiências, como insegurança jurídica ou vantagens desproporcionais para determinados agentes.

O terceiro capítulo terá como objetivo reunir os insights obtidos ao longo dos capítulos e oferecer uma reflexão crítica sobre o uso de ferramentas de experimentalismo regulatório no setor de hidrogênio verde no Brasil. Serão apresentadas recomendações para a construção de um ambiente regulatório que promova a inovação de forma equilibrada, garantindo que o desenvolvimento do mercado de hidrogênio verde ocorra de maneira eficiente, competitiva e alinhada aos compromissos climáticos do país. Essa análise final buscará contribuir com os debates acadêmicos e institucionais sobre o papel das políticas públicas e da regulação na transição energética e na promoção de novos mercados.

O tema desta pesquisa é relevante, em razão de diversos motivos que permeiam os campos acadêmico, regulatório e econômico, além de seu alinhamento às crescentes demandas da transição energética global.

Em primeiro lugar, a pesquisa se justifica pela lacuna na literatura jurídica brasileira sobre o uso do Sandbox Regulatório em mercados emergentes de grande complexidade, como o de hidrogênio verde. Embora o conceito e uso da metodologia de Sandbox Regulatório tenha sido estudado anteriormente em outros setores, como o financeiro e o tecnológico, sua aplicação no setor energético, especialmente no contexto brasileiro, ainda carece de exploração mais aprofundada.

Esse vazio teórico é ainda mais relevante à luz da Lei 14.948/2024, que, ao instituir o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono, destacou o uso do Sandbox Regulatório como uma metodologia regulatória preferencial para o mercado de hidrogênio verde. No entanto, a ausência de justificativas técnicas para essa escolha na exposição de motivos da lei e em documentos preparatórios evidencia uma possível tendência do legislador de "indicar" metodologias regulatórias sem estudos críticos que avaliem a sua pertinência em um mercado nascente e altamente estratégico.

Além disso, o uso crescente do Sandbox Regulatório por outras agências reguladoras federais, em setores de alta complexidade, como a ANTAQ, ANTT, ANEEL e ANVISA, muitas vezes sem uma justificativa clara quanto à necessidade e adequação da metodologia, reforça a

urgência de análises criteriosas sobre os fundamentos, os objetivos e os possíveis impactos dessa ferramenta, tanto no setor energético quanto em outros mercados regulados.

Além disso, o mercado de hidrogênio verde no Brasil ainda está em estágio crítico de desenvolvimento, marcado por Memorandos de Entendimento e declarações de intenção de investimentos, com poucos projetos efetivamente implementados, mas com quantias relevantes de recursos privados comprometidos. O uso de metodologias de experimentalismo regulatório, como o Sandbox Regulatório, sem uma análise criteriosa de sua adequação ao estágio do mercado, pode resultar em falhas de mercado significativas, como monopólios ou oligopólios, beneficiando apenas um grupo seleto de empresas e comprometendo a competitividade e a sustentabilidade do setor.

Dessa forma, a pesquisa busca preencher uma lacuna prática, fornecendo subsídios teóricos e analíticos para a implementação de políticas públicas e instrumentos regulatórios que garantam um equilíbrio entre a promoção da inovação e a proteção dos princípios constitucionais da isonomia, segurança jurídica e eficiência administrativa.

2. A PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL NO CONTEXTO DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

A transição energética, impulsionada pela necessidade urgente de mitigar os efeitos das mudanças climáticas e reduzir a emissão de gases de efeito estufa, tornou-se um dos principais desafios e objetivos globais.[19]

Nesse contexto, o hidrogênio verde surge como um vetor energético promissor, com grande potencial para descarbonizar setores industriais e de transporte que possuem uma difícil adaptação à eletrificação direta. Considerado uma alternativa de baixo carbono, o hidrogênio verde é produzido através da eletrólise da água, usando fontes renováveis, como a energia solar e eólica. Esse processo resulta em um combustível limpo e sustentável, essencial para alcançar as metas de sustentabilidade e neutralidade de carbono definidas no Acordo de Paris e em outros compromissos ambientais.

O Brasil, com uma matriz energética já composta majoritariamente por fontes renováveis, e uma disponibilidade abundante de recursos naturais, apresenta um cenário altamente favorável para o desenvolvimento do mercado de hidrogênio verde.[20] Essa vantagem competitiva é reforçada por aspectos geográficos, como sua posição estratégica para exportação, especialmente para mercados como a Europa, que já demonstram disposição para pagar o "prêmio de carbono" por produtos de origem limpa.

Além disso, a infraestrutura portuária brasileira, incluindo hubs estratégicos como os portos de Pecém, Suape e Açu, coloca o país em uma posição privilegiada para atender à crescente demanda internacional por hidrogênio verde e seus derivados. Com investimentos projetados em dezenas de bilhões de reais, esses hubs se consolidam como polos de atração para projetos inovadores e sustentáveis no setor.

Neste capítulo, será abordado o conceito de transição energética no Brasil, com ênfase na importância do hidrogênio verde como um componente fundamental dessa mudança. Em seguida, será apresentada uma análise detalhada sobre a cadeia de valor do hidrogênio verde no

[19] LESK, C.; KORNHUBER, K. An effective clean energy transition must anticipate growing climate disruptions. Environmental Research: Climate, v. 1, 2022. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2752-5295/ac76db/pdf. Acesso em: 15 dez. 2024.
[20] MACEDO, S.; PEYERL, D.; SILVA FILHO, D. Brazilian hydrogen economy development. Revista Brasileira de Energia, v. 29, n. 2, p. 183, 2023. Disponível em: https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/800/566. Acesso em: 15 dez. 2024.

Brasil, destacando os projetos em desenvolvimento, os principais stakeholders envolvidos e o papel central dos hubs portuários mencionados.

Esse panorama revela o potencial transformador do hidrogênio verde para a economia brasileira, não apenas como um combustível alternativo, mas também como um produto estratégico para exportação, que pode impulsionar o crescimento econômico ao mesmo tempo em que contribui para a descarbonização global.

Outro aspecto relevante explorado neste capítulo é o quadro normativo aplicável à produção de hidrogênio verde no Brasil. Com a promulgação da Política Nacional de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono e outros instrumentos regulatórios, o país estabeleceu diretrizes que visam incentivar o crescimento ordenado e seguro desse mercado.

Esse arcabouço jurídico busca não apenas assegurar a competitividade do hidrogênio verde brasileiro, mas também atrair investimentos e fomentar a inovação tecnológica necessária para a sua produção e uso em larga escala.

Dessa forma, o presente capítulo serve como uma introdução abrangente ao papel do hidrogênio verde no Brasil, colocando-o em contexto dentro da transição energética. Esse entendimento será importante para a análise dos capítulos seguintes, onde será explorado o uso do Sandbox Regulatório, para acelerar o desenvolvimento do setor.

2.1. CRISE CLIMÁTICA E O IMPERATIVO DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

A crise climática é um dos maiores desafios contemporâneos, exigindo uma resposta urgente e coordenada para mitigar seus efeitos e adaptar sistemas econômicos e sociais. Dentre as estratégias de enfrentamento, a transição energética é destaque, visando substituir gradualmente fontes de energia de alta emissão de gases de efeito estufa por alternativas renováveis e de baixo carbono.[21]

Este subcapítulo explora o conceito de transição energética em suas várias dimensões, abordando sua evolução histórica e as particularidades do contexto brasileiro, que possui uma

[21] ARON, Adam. The Climate Crisis. Cambridge University Press, 2022. DOI: 10.1017/9781108982566; VAN BOMMEL, N.; HÖFFKEN, J. The urgency of climate action and the aim for justice in energy transitions – dynamics and complexity. Environmental Innovation and Societal Transitions, 2023; e SOLOVYEV, D.; SHILOVA, L.; BUSHUEV, V. Energy crisis and global climate change. Project Baikal, 2023

matriz energética consideravelmente limpa, mas ainda dependente de insumos de base fóssil para estabilização do sistema elétrico e como combustível para transporte e logística.

Antes de apresentar o conceito adotado por esse trabalho para transição energética, é necessária uma contextualização maior da crise climática relacionada que embasa a presente transição.

Aquecimento global é um fenômeno caracterizado pelo aumento contínuo das temperaturas médias da atmosfera e dos oceanos da Terra. Esse processo de aquecimento se intensifica cada vez mais, com consequências diretas e indiretas em diversos setores da sociedade. Essa elevação das temperaturas é atribuída principalmente à intensificação do efeito estufa, causado pelo aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxidos de nitrogênio (NO_x). A principal fonte desses gases é a atividade humana, especialmente a queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) para produção de energia, transporte, indústria e desmatamento.[22]

Já a crise climática é o resultado direto desse aquecimento global. Esse conceito representa não apenas impactos ao meio ambiente, mas também a saúde pública, a economia, a segurança alimentar e a estabilidade global. Os efeitos da crise climática são distribuídos, mas desproporcionalmente suportados pelas populações mais vulneráveis, como aquelas em países em desenvolvimento que têm menos recursos para se adaptar às mudanças.[23] A atual transição energética perseguida à nível internacional é um dos principais instrumentos para mitigação dos efeitos da crise climática.

Embora aparente ser um termo simples, o conceito de "transição energética" não tem uma definição genericamente aceita.[24] A diversidade de interpretações reflete as diferentes abordagens e contextos históricos em que o conceito foi aplicado ao longo do tempo. Ainda

---

[22] Center for International Environmental Law. Selected International Legal Materials on Global Warming and Climate Change. American University International Law Review 5, n 2, 1990. P. 513-634

[23] Ibidem.

[24] TAVARES, Felipe Botelho. O que foi a transição energética? Um estudo sobre o Brasil no século XXI. 2019. Dissertação (Mestrado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: https://www.ie.ufrj.br/images/IE/PPGE/teses/2019/Felipe%20Botelho%20Tavares.pdf. Acesso em: 9 nov. 2024; ARAÚJO, K. The emerging field of energy transitions: Progress, challenges, and opportunities. Energy Research & Social Science, v. 1, p. 112–121, 1 mar. 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.03.002. Acesso em: 9 nov. 2024; SMIL, V. Energy Transitions: History, Requirements, Prospects. Santa Barbara: ABC-CLIO, 2010; SOVACOOL, B. K. How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. Energy Research & Social Science, Energy Transitions in Europe: Emerging Challenges, Innovative Approaches, and Possible Solutions, v. 13, p. 202–215, 1 mar. 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.020. Acesso em: 9 nov. 2024.

assim, o termo é utilizado de forma geral para descrever mudanças na composição do consumo de energia primária ao longo do tempo.[25]

Ou seja, transição energética não é sinônimo de redução das emissões de gases de efeito estufa, mas meramente um meio pelo qual tal objetivo pode ser alcançado.

Transições energéticas, em geral, tendem a ter um tempo de desenvolvimento e conclusão longos, em vista dos custos relacionados com à mudança da infraestrutura relacionada e as motivações relacionadas subjacentes a essas mudanças.[26]

Diversas transições energéticas já ocorreram ao longo da história humana, como consequências de inovações tecnológicas, mudanças econômicas, rupturas sociais ou mesmo a disponibilidade e acessibilidade de novas fontes de energia. Como exemplos, transições energéticas relevantes que podem ser citadas: i) a transição da queima de biomassa vegetal (principalmente lenha) para o carvão no século XVIII/XIX; e ii) a transição do carvão para o petróleo e gás natural no século XIX/XX.[27]

No contexto de instrumento para mitigação dos efeitos da crise climática, é possível remontar sua origem à década de 1970, quando se intensificaram as discussões sobre alternativas energéticas, principalmente após o primeiro choque do petróleo. Esse período marcou o início da preocupação com o futuro energético, apresentando certa disrupção com os conceitos dos padrões energéticos anteriormente estabelecidos.[28]

O Brasil possui um histórico de transições energéticas não diretamente relacionadas com a crise climáticas, mas sim em resposta às necessidades econômicas e sociais do país.[29] Na

---

[25] TAVARES, Felipe Botelho. O que foi a transição energética? Um estudo sobre o Brasil no século XXI. 2019. Dissertação (Mestrado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: https://www.ie.ufrj.br/images/IE/PPGE/teses/2019/Felipe%20Botelho%20Tavares.pdf. Acesso em: 9 nov. 2024

[26] SOVACOOL, Benjamin K. How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. *Energy Research & Social Science*, v. 13, p. 202-215, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221462961630126X. Acesso em: 30 set. 2024.

[27] Em menor escala, é possível aludir a transição energética do meio do século XX com o surgimento da energia nuclear. Para aprofundamento na temática: FOUQUET, R. Historical energy transition: Speed, prices and system transformation. Energy Research and Social Science. V. 22, 2016. p. 7-12; FOUQUET, R; PEARSON, P.J.G. A Thousand years of energy use in the United Kingdom. Energy Journal, v. 19, n. 4, 1998. P. 1-41; e MEZA, C.G. Transição Energética global e desenvolvimento sustável: limites e possibilidades no capitalismo contemporâneo. 2018. 200 f. Tese (Doutorado em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, 2018. Acesso em: 31 de maio de 2024. Disponível em: < https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-03102018-100309/publico/tvc.pdf>

[28] Ibidem.

[29] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Bibliografia Temática: transição energética no setor elétrico brasileiro. Brasília: ANEEL, 2024. Disponível em: https://biblioteca.aneel.gov.br/acervo/detalhe/224064. Acesso em: 9 nov. 2024.

década de 1950 e início da década de 1960, a limitação do acesso brasileiro ao petróleo se tornou um desafio, uma vez que a industrialização e o crescimento das áreas urbanas exigiam um aumento expressivo no consumo de energia. Nesse período, o Brasil utilizava predominantemente a lenha como fonte de energia para usos residenciais e industriais de pequena escala, além do carvão mineral, majoritariamente importado.

O governo buscou alternativas que pudessem reduzir essa vulnerabilidade sociopolítica, e uma das soluções identificada foi a expansão do uso de hidrelétricas, que visava explorar o vasto potencial hídrico e subutilizado brasileiro.[30] Esse movimento fez com que a matriz de produção de energia elétrica brasileira se tornasse uma das mais limpas do mundo, com predominância de fontes renováveis, de baixa emissão de gases estufa. Mesmo assim, é válido citar que a motivação não foi relacionada com o aquecimento global.

Durante a década de 1970, os choques do petróleo em 1973 e 1979 elevaram significativamente os preços internacionais do petróleo. Mesmo com a expansão da energia hídrica na matriz energética brasileira, esse aumento repentino nos custos dos derivados de petróleo impactou a economia brasileira, que enfrentava uma dependência desse recurso para combustível de transporte e insumo de indústrias.[31]

Como resposta, o governo brasileiro lançou, em 1975, o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), que visava promover a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. O Proálcool teve como objetivo inicial a adição de álcool anidro à gasolina, o que poderia reduzir o consumo de derivados de petróleo.[32] O Proálcool trouxe inúmeros benefícios para o Brasil, transformando o país em um dos maiores produtores e consumidores de etanol no mundo. Além de reduzir a dependência do petróleo, o programa ajudou a impulsionar o setor sucroalcooleiro, gerando empregos e desenvolvimento nas áreas rurais. [33] Mesmo assim, novamente, a matriz

---

[30] Silva, J. B. da; Barros, D. da S. Transição energética e inovação: uma análise do setor elétrico brasileiro. *Brazilian Journal of Development*, 2021, p. 8. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/34700. Acesso em: 9 nov. 2024.

[31] Brito, T. L. F. Segurança energética e interdependência: Um estudo sobre o petróleo no Brasil. *ResearchGate*, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Thiago-Brito-3/publication/318431613_Energy_Security_and_Interdependence_a_Study_about_Oil_in_Brazil/links/59691101aca2728ca67c0053/Energy-Security-and-Interdependence-a-Study-about-Oil-in-Brazil.pdf. Acesso em: 9 nov. 2024

[32] Perdigão, D. Atuação política de grupos de interesse na evolução da matriz energética do Brasil de 1960 a 2019. Revista Mundi Sociais e Humanidades, p. 8-10, 2020. Disponível em: https://revistas.ifpr.edu.br/index.php/mundisociais/article/view/842. Acesso em: 9 nov. 2024.

[33] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Bibliografia Temática: transição energética no setor elétrico brasileiro. Brasília: ANEEL, p. 08, 2024. Disponível em: https://biblioteca.aneel.gov.br/acervo/detalhe/224064. Acesso em: 9 nov. 2024.

de insumos e combustíveis brasileiros tornou-se renovável por motivos aquém da crise climática global.

Em vista desse desenvolvimento histórico, hoje, o Brasil possui uma matriz energética diversa e majoritariamente renovável, com a hidroeletricidade, a bioenergia, a eólica e a solar ocupando posições de destaque.[34]

Diferentemente dos movimentos brasileiros, a presente transição energética buscada à nível internacional é voltada para mitigar os efeitos da crise climática, por meio da mudança de um sistema de energia baseado em combustíveis fósseis para um sistema baseado em fontes de energia sustentáveis, além de tecnologias de descarbonização[35], que capturem e armazenem CO_2.[36]

Embora o Brasil tenha formado uma matriz energética diversa e majoritariamente sustentável para consumo interno, a transição energética apresenta uma oportunidade de liderança geopolítica, por meio do cumprimento das metas de descarbonização do Acordo de Paris de 2015 e ganhos econômicos para o país, por meio do desenvolvimento de rotas tecnológicas e energéticas para exportação. Nesse sentido, o Estado brasileiro tem o papel de escolha de quais rotas o país vai de fato incentivar, dentre as diversas disponíveis.

A urgência relacionada com à transição energética atual é em geral utilizada de forma genérica para justificar estratégias governamentais de alternativas energéticas, sem qualquer justificativa técnica ou embasamento de escolha. O legislador e o regulador[37] utilizam a crise climática como base genérica para justificar a utilização de instrumentos, que potencialmente não seriam as únicas alternativas para alcançar os mesmos propósitos.

---

[34] Ibidem.

[35] ROCKSTRÖM, Johan et al. A roadmap for rapid decarbonization. *Science*, v. 355, n. 6331, p. 1269-1271, 2017. Disponível em: https://www.science.org/doi/10.1126/science.aah3443. Acesso em: 30 set. 2024.

[36] MEZA, C.G. Transição Energética global e desenvolvimento sustável: limites e possibilidades no capitalismo contemporâneo. 2018. 200 f. Tese (Doutorado em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, 2018. Acesso em: 31 de maio de 2024. Disponível em: < https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-03102018-100309/publico/tvc.pdf>

[37] "*O Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) busca,* ***além de contribuir para a transição energética de baixo carbono****, contribuir para a redução da dependência externa de diesel derivado de petróleo por meio da incorporação gradativa do diesel verde à matriz de combustíveis do País. Registra-se que o impacto da medida geraria elevação máxima de 0,7% no preço do litro do óleo diesel B para cada ponto percentual de mandato de mistura*." (GN) Em BRASIL. Projeto de Lei nº 4.516, de 18 de setembro de 2023. Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono, o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação, o Programa Nacional de Diesel Verde e o marco legal da captura e da estocagem geológica de dióxido de carbono. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 18 set. 2023. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2388242. Acesso em: 15 dez. 2024.

A implementação dessas políticas precisa ser coordenada para alcançar um impacto significativo, já que a opção por incentivar uma rota de descarbonização pode causar o aumento do consumo de combustíveis de origem fóssil alternativos.[38] A desarticulação entre diferentes políticas setoriais pode comprometer a eficiência dos esforços de descarbonização, especialmente em um contexto em que a transição energética deve integrar setores de difícil abatimento de emissões, como o transporte, a indústria e a agricultura.

O Brasil, ao instituir a recente Política Nacional de Transição Energética em agosto de 2024, buscou consolidar esses esforços diversos em uma estrutura integrada, mas ainda resta observar como as diferentes políticas públicas vão de fato ser coordenadas.

Nesse contexto apresentado, o hidrogênio verde, e todas as formas de produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono citadas na Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono, instituída pela Lei 14.948/2024, seriam meramente componentes de uma estratégia mais ampla de transição energética nacional.

Ou seja, a transição energética representa um processo complexo e gradual, impulsionado pela urgência da crise climática e pela necessidade de descarbonizar setores-chave da economia.

Assim, o hidrogênio verde desponta como uma das alternativas brasileiras promissoras, podendo integrar o conjunto de soluções para a descarbonização, especialmente em setores de difícil abatimento. No entanto, para que o Brasil maximize seu potencial, seria essencial que políticas públicas fossem harmonizadas, assegurando que incentivos ao hidrogênio verde e outras fontes renováveis se traduzissem em uma transição energética efetiva.

2.2. A IMPORTÂNCIA DO HIDROGÊNIO PARA A INDÚSTRIA E A NECESSIDADE DE TRANSFORMAÇÃO DO SEU PROCESSO PRODUTIVO

A produção de hidrogênio no Brasil não é disruptiva. A Petrobras iniciou a produção de hidrogênio há décadas, com o objetivo de atender às suas operações de refino de petróleo.[39]

---

[38] MERCURE, J. F. et al. The dynamics of technology diffusion and the impacts of climate policy instruments in the decarbonisation of the global electricity sector. Energy Policy, v. 73, p. 686-700, 2014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421514004017. Acesso em: 12 nov. 2024.

[39] CRUZ, F. E. da. *Estudo sobre a produção de hidrogênio nas refinarias de petróleo da Petrobras*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3150/tde-17082010-123008/publico/Dissertacao_Flavio_Eduardo_da_Cruz.pdf. Acesso em: 3 out. 2024.

A produção de hidrogênio nas refinarias da Petrobras é predominantemente realizada por meio do processo de reforma a vapor de gás natural[40], que é o método mais utilizado na indústria petroquímica, comumente chamado em alguns documentos técnicos hidrogênio cinza. Esse processo consiste na reação do metano, o principal componente do gás natural, com vapor d'água a elevadas temperaturas, resultando na geração de hidrogênio e dióxido de carbono como subproduto.

Esse hidrogênio produzido nas refinarias é empregado no processo de hidrotratamento das refinarias da estatal, etapa relevante para a remoção de impurezas, como o enxofre, dos combustíveis derivados de petróleo, como o diesel e a gasolina. Esse processo contribui para a melhoria da qualidade dos combustíveis, permitindo que atendam às normas ambientais e regulatórias da ANP, especialmente no que se refere à redução da presença de enxofre.[41]

Além do processo industrial de refinamento do petróleo, o hidrogênio é amplamente utilizado em diversos setores industriais e energéticos. No setor de energia, pode ser empregado como combustível em motores de combustão e em células de combustível, além de ser uma importante matéria-prima para a produção de amônia e metanol.

As células de combustível utilizam o hidrogênio para gerar eletricidade, por meio da reação entre hidrogênio e o oxigênio, resultando em água como subproduto, sem emissões de gases estufa, os agentes principais da crise climática. Esse uso é aplicado em veículos movidos a hidrogênio, bem como em sistemas estacionários de geração de energia.[42]

Além de ser utilizado como combustível, o hidrogênio desempenha um papel fundamental na produção de amônia e metanol. A amônia é amplamente utilizada na produção de fertilizantes e pode também ser utilizada como um vetor de energia para o transporte e armazenamento de hidrogênio, devido à sua facilidade de armazenamento e transporte, em forma líquida, sob condições moderadas.[43] A decomposição catalítica da amônia gera

---

[40] Ibidem.

[41] EIXOS. Petrobras estuda substituir hidrogênio fóssil por renovável nas refinarias. 2023. Disponível em: https://eixos.com.br/hidrogenio/petrobras-estuda-substituir-hidrogenio-fossil-por-renovavel-nas-refinarias/. Acesso em: 3 out. 2024.

[42] FAN, L.; TU, Z.; CHAN, S. Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: A review. Energy Reports, 2021. Acesso em: 1 out. 2024

[43] LAMB, K.; DOLAN, M.; KENNEDY, D. F. Ammonia for hydrogen storage; A review of catalytic ammonia decomposition and hydrogen separation and purification. International Journal of Hydrogen Energy, 2019. Acesso em: 1 out. 2024.

hidrogênio puro, o que permite sua utilização em células de combustível, especialmente em veículos elétricos.[44]

O metanol, por sua vez, é outra importante aplicação do hidrogênio. Ele é produzido por meio da combinação de hidrogênio e dióxido de carbono, servindo como matéria-prima para a produção de diversos compostos químicos, como o ácido acético e o éter metil-terciário-butil (MTBE), além de ser uma alternativa limpa de combustível com elevado teor energético.[45]

Nesse sentido, o hidrogênio pode ser considerado um vetor energético chave, devido à sua capacidade de atuar como intermediário entre a produção, o armazenamento e o uso de energia, especialmente nesse contexto de transição energética.[46] Um vetor energético, por definição, não é uma fonte primária de energia, como o sol, o vento ou os combustíveis fósseis, mas sim um meio para transportar, armazenar e converter energia de maneira eficiente para usos diversos.[47]

No caso do hidrogênio, em razão de poder ser produzido a partir de várias fontes, renováveis ou não, armazenado em diferentes formas como comprimido, liquefeito ou em portadores químicos, e utilizado em aplicações que vão desde o transporte até a geração de eletricidade, ele se torna especialmente valioso. Seu valor está em se tornar solução para superar desafios de intermitência das fontes renováveis e para aplicações em setores que demandam alta densidade energética, como a indústria pesada e o transporte marítimo.[48]

Diferentes tecnologias podem ser utilizadas para a produção do hidrogênio, mas a molécula de hidrogênio permanece a mesma em termos de composição química. A fórmula molecular do hidrogênio é H_2, consistindo em dois átomos de hidrogênio unidos por uma ligação covalente. Isso não varia, independente se o método é a partir de insumos de origem fóssil, como a reforma do vapor de metano, ou métodos sustentáveis, com menores emissões de gases estufa.

---

[44] REDDY, V. J.; HARIRAM, N. P.; MAITY, R. Sustainable E-Fuels: Green Hydrogen, Methanol and Ammonia for Carbon-Neutral Transportation. World Electric Vehicle Journal, 2023.
[45] DALENA, F.; SENATORE, A.; BASILE, A. Methanol Production and Applications: An Overview. Membranes, 2018.
[46] Abdin, Z.; Zafaranloo, A.; Rafiee, A.; Mérida, W. Hydrogen as an energy vector. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 2020. Disponível em: https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/138999/1/Hydrogen%20as%20an%20energy%20vector.pdf. Acesso em: 7 dez. 2024
[47] Ibidem.
[48].Ibidem.

Ou seja, a diferença dentre os métodos de produção está nos impactos e danos ambientais relacionados, além dos recursos utilizados para sua obtenção, e não na molécula de hidrogênio resultante. Para facilitar o entendimento das diferentes formas de obtenção do hidrogênio, foi estabelecido um código de cores que classifica as diversas tecnologias de produção, com base em suas características ambientais e energéticas.[49]

Conforme citado anteriormente, o hidrogênio verde é produzido por processos que atendem aos princípios da química verde, como a eletrólise alimentada por energia renovável.

Essa produção é caracterizada pela utilização de fontes de energia renováveis como vento, sol, ou hidráulica, para alimentar o processo de eletrólise da água.[50] Nesse processo, a energia elétrica gerada por fontes renováveis é usada para separar a água (H_2O) em oxigênio (O_2) e hidrogênio (H_2). Esse hidrogênio verde resultante contrasta com o hidrogênio produzido a partir de fontes fósseis ou encontrado em jazidas naturais.[51] Abaixo, um esquema gráfico para ilustrar os aspectos técnicos.

[49] Existem diversas rotas de produção de hidrogênio no código de cores, mas as principais são a do hidrogênio cinza, azul e do verde, tratado nesse trabalho. Conforme citado no início do presente tópico, hidrogênio cinza é a forma mais comumente produzida e a menos sustentável. É um processo de reforma a vapor de gás natural, no qual o metano é posto em reação com vapor de água em altas temperaturas, gerando hidrogênio e dióxido de carbono (CO_2) como subproduto. Esse processo é altamente intenso em carbono, o que contribui significativamente para as emissões globais de gases de efeito estufa. Em média, para cada tonelada de hidrogênio cinza produzido, são emitidas cerca de 10 toneladas de CO_2. O hidrogênio azul utiliza o mesmo processo de reforma a vapor de gás natural, mas com a diferença crucial de que as emissões de CO_2 geradas são capturadas e armazenadas por meio de tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS, do inglês *Carbon Capture* and Storage). Embora essa tecnologia reduza as emissões, ela ainda depende de combustíveis fósseis, o que levanta questionamentos sobre sua viabilidade em longo prazo em termos de sustentabilidade. Para aprofundamento: GOLDTHAU, A.; KEARNS, J.; MORGAN, J. The future of clean hydrogen: Opportunities and challenges. Journal of Energy Policy, v. 144, 2020. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111717; e YU, M.; WANG, K.; VREDENBURG, H. Insights into low-carbon hydrogen production methods: Green, blue and aqua hydrogen. International Journal of Hydrogen Energy, 2021.

[50] CÉSAR, Aldara da Silva; VERAS, Tatiane da Silva; MOZER, Thiago Simonato; DOS SANTOS, Danielle da Costa Rubim Messeder; CONEJERO, Marco Antonio (2019). Hydrogen productive chain in Brazil: An analysis of the competitiveness' drivers. Journal of Cleaner Production. Vol 207, pp. 751-763.

[51] FONSECA, Roberto Giannetti da. A era do hidrogênio verde no século XXI. Inovação & Desenvolvimento: A Revista da FACEPE, Recife, v. 1, n. 8, p. 40-45, 2022.

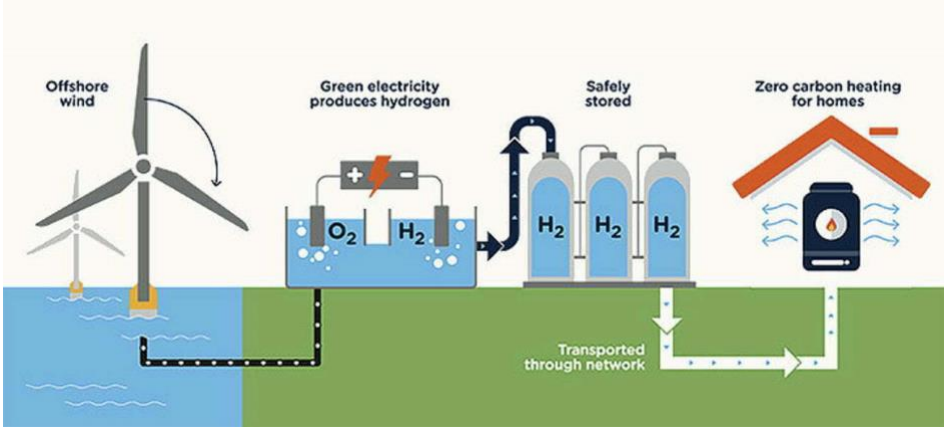


Figura 1 – Esquema Gráfico da Produção de Hidrogênio Verde[52]

Para a devida comprovação de que o hidrogênio foi produzido utilizando as metodologias corretas e, de fato, evitou a emissão de gases estufa, são estabelecidos mecanismos de certificação. A certificação de um insumo é um procedimento para demonstrar que os requisitos nacionais e internacionais são atendidos, com o objetivo principal de garantir para o mercado uma ferramenta de caráter comprobatório, em que os consumidores possam comprovar a origem e rastrear os atributos ambientais do produto.

Em geral, no processo de certificação, o produtor de hidrogênio interessado envia uma solicitação para alguma certificadoras especializada, com reconhecimento de mercado, junto dos laudos técnicos e do restante da documentação necessária. A certificadora meramente emite um documento que atesta a regularidade da produção para os seus padrões de metodologia e emissão de gases estufa. As principais certificadoras internacionais são a CertiHy, privada, de origem europeia, e a Green Hydrogen Standard, do governo da California, nos Estados Unidos da América.[53]

Além de garantir a confiabilidade e transparência da produção de hidrogênio verde, as certificações desempenham um papel crucial na monetização dos benefícios ambientais associados ao produto. Por meio da certificação, os produtores podem registrar os atributos ambientais do hidrogênio, como a redução comprovada de emissões de gases de efeito estufa, e utilizá-los como instrumentos econômicos em mercados específicos. Esses atributos, que podem ser denominados "créditos de carbono" ou "atributos ambientais" em diferentes

[52] SGN. We're preparing to deliver the world's first 100% green hydrogen network. Disponível em: https://www.sgn.co.uk/news/ready-deliver-worlds-first-100-green-hydrogen-network. Acesso em: 12 nov. 2024.
[53] CertifHy. CertifHy Scheme: The European Guarantee of Origin Scheme for Green Hydrogen. CertifHy Report, 2021. Disponível em: https://certifhy.eu/. Acesso em: 7 dez. 2024; e Green Hydrogen Standard. Green Hydrogen Production Standards in California. California Hydrogen Council, 2022. Disponível em: https://www.hydrogen.energy.gov/. Acesso em: 7 dez. 2024.

contextos, são comercializados em mercados de carbono, permitindo que os produtores de hidrogênio verde obtenham receita adicional pela contribuição ambiental de suas operações.[54]

Certificações como as oferecidas pela CertiHy e pela Green Hydrogen Standard não apenas fornecem um selo de qualidade reconhecido internacionalmente, mas também criam um mecanismo de rastreamento que permite aos consumidores e reguladores verificar a conformidade com os padrões ambientais. Assim, o hidrogênio verde certificado pode ser integrado a cadeias de valor globais que valorizam a sustentabilidade.[55]

A conexão entre certificação e monetização ambiental não se limita à comercialização de atributos ambientais; ela também viabiliza incentivos fiscais, subsídios e acesso a mercados regulados que priorizam o uso de fontes de energia renováveis.[56]

Apesar do hidrogênio verde oferecer muitos benefícios ambientais, ele enfrenta desafios em termos de custo e infraestrutura. Atualmente, a produção de hidrogênio verde seria mais custosa do que as formas convencionais de produção de hidrogênio que utilizam combustíveis fósseis, principalmente pelos desafios técnicos e financeiros relacionados.[57]

Do ponto de vista técnico, um dos principais desafios é o desenvolvimento de uma infraestrutura adequada para a produção, armazenamento e distribuição desse hidrogênio produzido. O Brasil ainda carece de uma rede estruturada que permita o transporte eficiente do hidrogênio em larga escala, seja por meio de dutos ou outros sistemas logísticos especializados. Além disso, o armazenamento do hidrogênio, que precisa ser mantido sob alta pressão, ou em

---

[54] Mullen, E. Financing the Green Hydrogen Economy. Duke University Thesis, 2023. Disponível em: https://dukespace.lib.duke.edu/bitstreams/d0485b1c-9619-4edc-863b-a6ea16822481/download. Acesso em: 7 dez. 2024.

[55] Kuhn, M.; Koop, P. Standardizing Hydrogen Certification: Enhance Traceability, Transparency, and Market Access. Energy Central Publication, 2023. Disponível em: https://energycentral.com/system/files/ece/nodes/629260/hydrogen_standardisation.pdf. Acesso em: 7 dez. 2024.

[56] Dong, Z. Y.; Yang, J.; Daiyan, R.; Amal, R. A Green Hydrogen Credit Framework for International Green Hydrogen Trading Towards a Carbon Neutral Future. International Journal of Hydrogen Energy, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jiajia-Yang-9/publication/356085296_A_green_hydrogen_credit_framework_for_international_green_hydrogen_trading_towards_a_carbon_neutral_future/links/618b75e63068c54fa5c87f20/A-green-hydrogen-credit-framework-for-international-green-hydrogen-trading-towards-a-carbon-neutral-future.pdf. Acesso em: 7 dez. 2024.

[57] BĂJENESCU, Titu-Marius I. The Transition to a Hydrogen Economy. Journal of Engineering Science, v. 29, n. 1, p. 62-70, 2022. DOI: 10.52326/jes.utm.2022.29(1).05. Disponível em: https://jes.utm.md/wp-content/uploads/sites/20/2022/03/JES-1-2022_62-70.pdf. Acesso em: 15 dez. 2024; e ELSHAFEI, Ali Mohamed; MANSOUR, R. Green Hydrogen as a Potential Solution for Reducing Carbon Emissions: A Review. Journal of Energy and Natural Resources Research, v. 13, p. 257-268, 2023. DOI: 10.9734/jenrr/2023/v13i2257. Disponível em: https://journaljenrr.com/index.php/JENRR/article/download/257/511. Acesso em: 15 dez. 2024.

estado líquido a temperaturas extremamente baixas, envolve custos e tecnologias complexas que demandam elevados investimentos iniciais.[58]

Outro desafio técnico relevante é a integração dos projetos de hidrogênio verde na rede de transmissão/distribuição de energia elétrica nacional. No Brasil, embora resida potencial relevante para o uso de energias renováveis, como a solar e a eólica, a conexão dessas fontes de energia com as plantas de produção de hidrogênio ainda não está desenvolvida. A infraestrutura de transmissão de energia elétrica para as áreas de produção de hidrogênio é limitada e, em muitos casos, distante dos principais centros de geração dessa energia renovável. Isso implicaria na necessidade de significativos investimentos para ampliação e modernização das redes de transmissão, além da construção de novas plantas em regiões específicas, o que oneraria significativamente os projetos relacionados.[59]

Em termos financeiros, o custo elevado dos equipamentos e infraestrutura para uso da eletrólise, tecnologia chave para a produção do hidrogênio verde, representa um dos principais entraves. A tecnologia que gera a eletrólise ainda está em fase de desenvolvimento, apresentando custos de aquisição e operação altos, especialmente no que diz respeito manutenção dos equipamentos, como os eletrolisadores. O Brasil ainda importa grande parte desses equipamentos, o que aumenta os custos de implementação, devido à falta de indústrias nacionais especializadas na fabricação de componentes necessários para esse tipo de produção.[60]

Além disso, os custos de capital para desenvolver uma infraestrutura adequada para o hidrogênio verde são substanciais. O investimento inicial necessário para a construção de plantas de produção e a infraestrutura de suporte (armazenamento, transporte e conexão a rede elétrica) é elevado. Esse fator limita a participação de novos atores e, muitas vezes, retarda o progresso dos projetos já existentes, uma vez que o retorno financeiro desses empreendimentos

---

[58] BENITES, G. R.; MORAES, D. F.; ARAUJO, M. A. Desafios técnicos na produção e distribuição de hidrogênio verde no Brasil: uma análise do cenário atual. Revista Brasileira de Engenharia Química, v. 43, n. 1, p. 23-34, 2022. DOI: 10.1007/s40797-021-0148-4.

[59] ANDRADE, Maíra Silva; VIEIRA, Carolina Sacramento; DONATO, Vitório. Evaluation of the Store Potential of Green Hydrogen in Bahia, Brazil. Journal of Bioengineering and Technology Applied to Health, v. 6, n. 1, p. 22-29, 2023. Disponível em: https://www.jbth.com.br/index.php/JBTH/article/view/282/220. Acesso em: 15 dez. 2024; e ZHANG, Siyu et al. Optimization of System Configuration and Production Simulation for On-grid Green Hydrogen Projects. In: 2022 IEEE Renewable Energy and Power Engineering Conference (REPE), 2022. DOI: 10.1109/REPE55559.2022.9948766. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/9948766. Acesso em: 15 dez. 2024.

[60] TULLO, Alex. Green hydrogen planned for Brazil. Chemical & Engineering News, 2022. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/cen-10027-buscon10. Acesso em: 15 dez. 2024.

ainda é incerto, devido ao alto custo da eletricidade e dos equipamentos envolvidos.[61] Apesar de seu grande potencial para a descarbonização, o hidrogênio verde, devido aos desafios técnicos e financeiros discutidos, configura-se como uma solução de transição energética de altos custos e valor agregado.

Embora seja uma alternativa promissora para setores de difícil eletrificação[62], como a indústria pesada, a aviação e o transporte marítimo, seu elevado custo de produção e a complexidade de sua cadeia logística fazem com que sua aplicação não seja universal para todos os setores ou contextos de transição energética.[63] Em cenários onde as cadeias de valor são menos complexas e os requisitos energéticos não demandam uma solução tão sofisticada, outras tecnologias de baixo carbono e menores custos relacionados, como o biometano, podem ser alternativas de maior viabilidade.

No Brasil, devido aos altos custos de produção e à complexidade da infraestrutura relacionada, citados anteriormente, grande parte dos projetos de hidrogênio verde tem sido orientada para a exportação.[64] O país possui uma vasta capacidade de gerar energia renovável, tornando-se um potencial fornecedor de hidrogênio verde para mercados internacionais, que buscam alternativas de energia limpa para atingir suas metas de neutralidade de carbono. Esse enfoque em exportação se justifica pela possibilidade de acessar mercados dispostos a pagar mais por combustíveis de baixo carbono, o que equilibra os altos investimentos necessários para a implementação das tecnologias de produção.

Como um exemplo, o biometano, por outro lado, destaca-se como uma solução competitiva em termos de custo-benefício para determinadas aplicações dentro do mercado doméstico, especialmente em setores como transporte rodoviário e em pequenas indústrias. Ele

---

[61] FRANZMANN, David et al. Green hydrogen cost-potentials for global trade. International Journal of Hydrogen Energy, 2023. Disponível em: https://arxiv.org/pdf/2303.00314. Acesso em: 15 dez. 2024. URS, R. R. et al. Sensitivity Analysis on Green Hydrogen as Energy Storage: A Techno-Economic Case Study. In: 2023 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM). 2023. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/10252346. Acesso em: 15 dez. 2024.

[62] Setores de difícil eletrificação são indústrias e atividades econômicas que a substituição de combustíveis de origem fóssil por energia elétrica é complexa, devido a fatores técnicos, econômico-financeiros ou logísticos. Exemplos incluem a indústria pesada (como siderurgia, cimento e vidro), transporte de longa distância (aviões, navios e caminhões de carga) e processos industriais de alta temperatura. Esses setores demandariam uma quantidade de energia tão intensa, que as tecnologias de geração elétrica atuais não conseguiriam atender de forma viável. Para aprofundamento: IRENA. Reaching zero with renewables: sectors of focus. International Renewable Energy Agency, 2020. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Sep/IRENA_Reaching_zero_2020.pdf. Acesso em: 12 nov. 2024.

[63] Ibidem.

[64] GARLET, T. B.; SOUZA S. F.; RIBEIRO, J. L. D. Unlocking Brazil's green hydrogen potential: Overcoming barriers and formulating strategies to this promising sector. International Journal of Hydrogen Energy, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319923048735. Acesso em: 12 nov. 2024.

pode ser obtido a partir da purificação do biogás gerado em aterros sanitários ou em estações de tratamento de efluentes e resíduos agroindustriais, transformando o metano, um potente gás de efeito estufa, em uma fonte de energia útil. Além disso, a infraestrutura necessária para o uso do biometano, como redes de gasodutos e equipamentos de conversão, já existe em muitos contextos, o que reduz a necessidade de investimentos adicionais em novas tecnologias e facilitaria sua adoção no Brasil.[65]

Nesse sentido, é importante citar que, embora seja uma solução relevante, hidrogênio verde surge como uma solução de alto valor agregado, aplicável principalmente a cenários em que outras soluções alternativas de baixo carbono não são eficazes ou viáveis tecnicamente.

Para setores como a geração de energia distribuída, a indústria leve ou mesmo o transporte urbano, onde há opções de menores custos, como o uso de biometano ou eletrificação direta, o hidrogênio verde pode não ser a escolha mais eficiente. Nesses contextos, soluções de menor complexidade tecnológica e menores custos podem desempenhar um papel crucial na transição energética brasileira, enquanto o hidrogênio verde pode ser reservado para setores de maior intensidade energética.[66]

Portanto, mesmo que seja um elemento de grande importância para a transição energética global, o hidrogênio verde não é uma solução universal para os desafios da crise climática. Sua viabilidade, técnica e econômica, pode variar conforme o contexto de uso.

Em áreas de menor intensidade de carbono, como o setor agrícola ou o transporte rodoviário, soluções como o biometano produzido a partir de biogás oferecem uma alternativa imediata e de menor custo, permitindo que o hidrogênio verde seja utilizado em setores onde seu valor agregado seja justificado pelas necessidades energéticas mais complexas e exigentes.

No caso brasileiro, o foco atual no desenvolvimento de projetos de hidrogênio verde voltados para exportação reflete essa diferença, sendo uma possível estratégia para aproveitar os mercados internacionais que buscam soluções de energia limpa e estão dispostos a pagar o "prêmio de carbono".[67] Mesmo assim, como será melhor detalhado nos próximos subcapítulos,

---

[65] FERNANDES, G.; MARIANI, L. O alto potencial de produção e uso fará do biogás a próxima fronteira da energia renovável no Brasil?. Boletim de Conjuntura, FGV Energia, 2019.

[66] JANSONS, L. et al. Green and Sustainable Hydrogen in Emerging European Smart Energy Framework. Latvia Power and Technology Systems, 2023. Disponível em: https://sciendo.com/pdf/10.2478/lpts-2023-0003. Acesso em: 15 dez. 2024. ELSHAFEI, Ali Mohamed; MANSOUR, R. Green Hydrogen as a Potential Solution for Reducing Carbon Emissions: A Review. Journal of Energy Research and Reviews, v. 13, p. 257, 2023. Disponível em: https://journaljenrr.com/index.php/JENRR/article/download/257/511. Acesso em: 15 dez. 2024.

[67] Ibidem.

a política de hidrogênio nacional ainda não atribui especificidade para os objetivos e a estratégia de desenvolvimento desse mercado nacional.

2.3. O MERCADO DO HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL E O PAPEL DA REGULAÇÃO PARA O INCENTIVO DA SUA PRODUÇÃO

Como citado anteriormente, existem projetos em desenvolvimento para produção de hidrogênio verde no Brasil, principalmente voltados para exportação para mercados internacionais que aceitariam pagar o "prêmio de carbono".

Desde 2021, com o anúncio do Hub de Hidrogênio Verde do Porto do Pecém, no Ceará, existiu uma proliferação de projetos no Brasil, principalmente motivados pela demanda internacional e com o grande potencial brasileiro relacionado com a matriz energética nacional, que é composta por cerca de 85% de fontes renováveis, como energia hidrelétrica, solar, eólica e biomassa.

O Porto do Pecém, localizado no município de São Gonçalo do Amarante, no estado do Ceará, é uma infraestrutura portuária de importância estratégica para o Brasil, sendo um dos principais Terminais de Uso Privado (TUP) do país.

Criado em 2001, o porto é parte do Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), que engloba também uma Zona de Processamento de Exportação (ZPE). Operado sob um modelo de gestão compartilhada, o Porto do Pecém é gerido pela Cearáportos, empresa pública vinculada ao governo estadual, em parceria com o Porto de Roterdã, da Holanda, que possui 30% das ações do complexo, desde 2018. [68]

A localização do porto, próxima às rotas de navegação do Atlântico e com acessibilidade a mercados da Europa, África e América do Norte, posiciona o Porto do Pecém como uma plataforma para projetos de logística.

O Hub de Hidrogênio Verde (H2V) no Porto do Pecém é uma iniciativa que busca transformar o Ceará em um dos principais polos mundiais de produção de hidrogênio verde, voltando principalmente para exportação. Com capacidade projetada para produzir até 500 mil

[68] LIMA, Ana Carolina Oliveira. Hidrogênio verde: principais perspectivas do cenário energético no Nordeste brasileiro. 2023. 61 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, p. 47, 2023.

toneladas de hidrogênio verde por ano, o hub também atua como um ponto de distribuição para a exportação de amônia verde.

O desenvolvimento do Hub de Hidrogênio Verde no Porto do Pecém é um projeto conjunto entre o Governo do Ceará, a administração do Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), e empresas nacionais e internacionais líderes em tecnologia energética. Até 2024, cerca de 40 empresas assinaram protocolos de intenção e memorandos de entendimento para investir em projetos relacionados ao hidrogênio verde, além de 07 pré-contratos com o governo estadual. Entre elas, destacam-se multinacionais, como a australiana Fortescue, a francesa Qair, e empresas brasileiras como a Eneva e a Companhia de Gás do Ceará (Cegás), somando mais de 24 bilhões de dólares em investimentos anunciados.[69]

Os projetos incluem desde a instalação de usinas de eletrólise, com capacidade de até 123 MW, até a construção de infraestruturas para armazenagem e transporte do hidrogênio e seus derivados.

Em seguida, ainda no Nordeste, é importante citar o Hub de Hidrogênio Verde do Porto do Suape, em Pernambuco. O Porto de Suape, localizado em Ipojuca, Pernambuco, é um dos principais complexos portuários públicos do Brasil. Gerido pelo Governo do estado de Pernambuco, o porto possui terminais especializados em cargas líquidas, granéis sólidos e conteinerizadas, além de uma zona de processamento industrial que abriga grandes empresas.

Pelos mesmos benefícios geográficos, de uma localização estratégica no Nordeste brasileiro, favorecendo conexões comerciais com mercados internacionais, a administração do Porto de Suape, junto do governo estadual, desenvolveu a iniciativa do hub portuário local, voltado para exportação.

Até o presente momento, ao menos quatro entidades demonstraram interesse de desenvolver projetos de produção e exportação de hidrogênio verde na região, que são a Qair, a Arhyze, o Grupo Linde (grupo controlador da White Martins e da GásLocal), a Voltalia e a

[69] CEARÁ. Governo do Ceará e União assinam resolução que aprova primeira fase da Fortescue no Pecém para produção de H2V. 2024. Disponível em: https://www.semace.ce.gov.br/2024/10/10/governo-do-ceara-e-uniao-assinam-resolucao-que-aprova-primeira-fase-da-fortescue-no-pecem-para-producao-de-h2v/. Acesso em: 15 nov. 2024. COMPLEXO DO PECÉM. Governo do Ceará e Qair Brasil assinam acordo de US$ 6,9 bilhões para projetos de energias renováveis. 2024. Disponível em: https://www.complexodopecem.com.br/governo-do-ceara-e-qair-brasil-assinam-acordo-de-us-69-bilhoes-para-projetos-de-energias-renovaveis/. Acesso em: 15 nov. 2024. EMBALANE. Empresa norueguesa vai investir R$ 9 bilhões em projeto de hidrogênio verde no Ceará. 2024. Disponível em: https://embalane.com.br/2024/11/08/empresa-norueguesa-vai-investir-r-9-bilhoes-em-projeto-de-hidrogenio-verde-no-ceara/. Acesso em: 15 nov. 2024. EIXOS. Hidrogênio verde: conheça 16 projetos promissores em desenvolvimento no Brasil. 2024. Disponível em: https://eixos.com.br/hidrogenio/hidrogenio-verde-conheca-16-projetos-promissores-em-desenvolvimento-no-brasil/. Acesso em: 15 nov. 2024.

Neoenergia. O Grupo Linde já anunciou o começo de sua produção de hidrogênio verde, desde dezembro de 2022, com uma produção média de 156 toneladas por ano.[70] Embora o hub tenha diversos projetos de potenciais bilionários, diferente do Porto de Pecém, a administração do Porto de Suape e o governo estadual de Pernambuco não apresentam valores monetários conectados com os memorandos de investimentos no hub.

Na região sudeste, o Hub de Hidrogênio Verde do Porto do Açu ganha destaque. O Porto do Açu é um complexo portuário e industrial localizado no município de São João da Barra, no estado do Rio de Janeiro, Brasil. Inaugurado em 2014, é o maior porto privado de águas profundas da América Latina. O terminal de uso privado é operado pela Prumo Logística, controlada pelo grupo americano EIG Global Energy Partners e pelo Mubadala Investment Company, de Abu Dhabi.

A localização do porto, próxima às bacias de Campos e do Espírito Santo, aliada à disponibilidade de energia renovável e infraestrutura já desenvolvida, tornou o complexo propício para o desenvolvimento de projetos de hidrogênio verde.

Em janeiro de 2024, o hub recebeu a Licença Prévia do Governo do estado do Rio de Janeiro, permitindo a instalação de uma planta de hidrogênio renovável e de baixo carbono em uma área de 1 milhão de metros quadrados. O objetivo é criar uma plataforma integrada para a produção de hidrogênio renovável, associada a unidades de produção de amônia e metanol, destinados tanto à exportação quanto ao mercado interno.

Diversas empresas estão desenvolvendo projetos no hub de hidrogênio verde do Porto do Açu. A Shell Brasil, em parceria com o Porto do Açu, anunciou em maio de 2022 a construção de uma planta-piloto de geração de hidrogênio verde, com capacidade inicial de 10 MW e operação prevista para 2025. A Neoenergia, subsidiária do grupo espanhol Iberdrola, firmou acordos estratégicos com autoridades regionais e portos brasileiros, incluindo o Porto

[70] SUAPE. Complexo de Suape assina memorando de entendimento com empresa francesa para desenvolver projeto industrial de R$ 2 bilhões. 2024. Disponível em: https://www.suape.pe.gov.br/pt/noticias/1855-complexo-de-suape-assina-memorando-de-entendimento-com-empresa-francesa-para-desenvolver-projeto-industrial-de-r-2-bilhoes?highlight=WyJoaWRyb2dcdTAwZWFuaW8iLCJ2ZXJkZSIsInZlcmRlJywiLCJoaWRyb2dcdTAwZWFuaW8gdmVyZGUiXQ==. Acesso em: 15 nov. 2024. EIXOS. Suape aprova 1º projeto de hidrogênio verde da Qair no Brasil. 2024. Disponível em: https://eixos.com.br/hidrogenio/suape-aprova-1o-projeto-de-hidrogenio-verde-da-qair-no-brasil/. Acesso em: 15 nov. 2024. PETRONOTÍCIAS. Voltalia assina memorando com Pernambuco para desenvolver projeto de hidrogênio no Porto de Suape. 2024. Disponível em: https://petronoticias.com.br/voltalia-assina-memorando-com-pernambuco-para-desenvolver-projeto-de-hidrogenio-no-porto-de-suape/. Acesso em: 15 nov. 2024. EIXOS. Hidrogênio verde: conheça 16 projetos promissores em desenvolvimento no Brasil. 2024. Disponível em: https://eixos.com.br/hidrogenio/hidrogenio-verde-conheca-16-projetos-promissores-em-desenvolvimento-no-brasil/. Acesso em: 15 nov. 2024.

do Açu, visando o desenvolvimento de projetos de hidrogênio verde e seus derivados. A Linde, empresa global de gases industriais e engenharia, também está envolvida em iniciativas relacionadas ao hidrogênio verde no Brasil, embora detalhes específicos sobre projetos no Porto do Açu não estejam disponíveis nas fontes consultadas. Além dessas, a norueguesa Fuella AS assinou, em agosto de 2024, um contrato de reserva de área para o desenvolvimento de uma planta de amônia verde com capacidade de produção de 400 mil toneladas por ano.[71]

Além desses três principais centros de produção em instalações portuárias, existem diversos outros projetos em outros estados brasileiros, reunindo quantias relevantes de investimentos externos projetados pelos próximos anos.

Na Bahia, o destaque é o projeto do Grupo Unigel, que está construindo a primeira planta de hidrogênio verde em escala industrial do Brasil no Polo Petroquímico de Camaçari. Com uma capacidade inicial de 60 MW, a planta potencialmente produzirá 10.000 toneladas anuais de hidrogênio verde, gerando 60.000 toneladas de amônia verde, com planos de expansão para 240 MW. [72]

Além dos projetos mencionados no estado do Rio de Janeiro do Porto do Açu, a Coppe/UFRJ tem se destacado no desenvolvimento de uma iniciativa própria relacionada ao hidrogênio verde. Em agosto de 2023, a instituição inaugurou uma planta piloto dedicada à produção e aplicação desse combustível sustentável. O projeto, realizado em parceria com a Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável, utiliza energia fotovoltaica para realizar a eletrólise da água, produzindo hidrogênio verde. A planta tem capacidade para gerar 8,6 kg de hidrogênio por dia e integra pesquisas em processos industriais, mobilidade urbana—como bicicletas movidas a hidrogênio—e células a combustível de óxido sólido.[73]

---

[71] PRUMO Logística. Prumo e Fuella AS anunciam primeiro contrato de reserva de área para hub de hidrogênio no Porto do Açu. Disponível em: https://www.prumologistica.com.br/pt/?news=prumo-e-fuella-as-anunciam-primeiro-contrato-de-reserva-de-area-para-hub-de-hidrogenio-no-porto-do-acu. Acesso em: 15 dez. 2024.

[72] CANAL ENERGIA. Unigel inicia construção da primeira fábrica de H_2 verde no Brasil. Disponível em: https://www.canalenergia.com.br/noticias/53219730/unigel-inicia-construcao-da-primeira-fabrica-de-h2-verde-no-brasil. Acesso em: 15 dez. 2024; COFIC. Bahia terá primeiro projeto de hidrogênio verde em escala industrial no Brasil. Disponível em: https://www.coficpolo.com.br/noticia.php?n=442. Acesso em: 15 dez. 2024; e UNIGEL. Com investimento total de US$ 1,5 bilhão, Bahia terá primeiro projeto de hidrogênio verde em escala industrial no Brasil. Disponível em: https://www.unigel.com.br/com-investimento-total-de-us-15-bilhao-bahia-tera-primeiro-projeto-de-hidrogenio-verde-em-escala-industrial-no-brasil. Acesso em: 15 dez. 2024.

[73] COPPE/UFRJ. *Coppe inaugura planta de produção de hidrogênio verde*. Disponível em: https://coppe.ufrj.br/planeta-coppe/coppe-inaugura-planta-de-producao-de-hidrogenio-verde/. Acesso em: 15 nov. 2024.

Minas Gerais também conta com iniciativas lideradas pela Solatio, que aproveita o potencial de energia solar do estado para desenvolver projetos do tipo. Além disso, a Cemig tem explorado parcerias para viabilizar a produção e o uso desse combustível no estado.[74]

No Piauí, a Green Energy Park (GEP) anunciou a construção de um parque de hidrogênio verde em Parnaíba, com um investimento significativo de 10 bilhões de euros e uma capacidade de produção inicial de 5 GW de amônia verde por ano, que marcou o maior investimento externo da história do estado.[75]

Já no Rio Grande do Sul, o estado tem explorado seu potencial eólico para atrair investimentos para a produção do hidrogênio verde, enquanto empresas como a Neoenergia firmam acordos estratégicos para viabilizar projetos que integram produção e exportação de hidrogênio.[76]

Foi possível mapear também a existência de um projeto no Rio Grande do Norte da Petrobras, que iniciou a construção de uma planta-piloto de produção de hidrogênio renovável no município de Alto do Rodrigues, com operações previstas para 2025. Essa planta reflete o compromisso da estatal com a inovação energética, reforçando sua posição como um ator importante na transição para fontes de energia mais limpas e sustentáveis.[77]

Para facilitar a visualização, abaixo uma tabela com os projetos nacionais em andamento relacionados:

Empresa	**Modalidade**	**Local**	**Capacidade (T/ano)**	**Finalidade**	**Investimentos**
Angra I e II	P&D	Angra dos Reis- RJ	300	Purificação de HBEC	Não divulgado
Atlas Agro	MOU	Uberaba-MG	500.000	Fertilizantes	R$ 43 bilhões

[74] CEMIG. Cemig desenvolve projeto para mapear a produção e o uso do hidrogênio verde em Minas Gerais. Disponível em: https://www.cemig.com.br. Acesso em: 15 dez. 2024. SOLATIO; Solatio investe no mercado de hidrogênio verde em Minas Gerais. Disponível em: https://www.solatio.com. Acesso em: 15 dez. 2024.

[75] G1 PIAUÍ. Mais de R$ 60 bilhões serão aplicados na produção de hidrogênio verde, maior investimento da história do PI. Disponível em: https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2023/11/28/mais-de-r-60-bilhoes-serao-aplicados-na-producao-de-hidrogenio-verde-maior-investimento-da-historia-do-pi.ghtml. Acesso em: 15 nov. 2024.

[76] RIO GRANDE DO SUL. Estado assina memorando com a Neoenergia para desenvolver projetos de energia eólica e hidrogênio verde. Disponível em: https://estado.rs.gov.br/estado-assina-memorando-com-a-neoenergia-para-desenvolver-projetos-de-energia-eolica-e-hidrogenio-verde. Acesso em: 15 dez. 2024.

[77] TRIBUNA DO NORTE. Construção de planta-piloto no RN para hidrogênio verde deve iniciar esta semana. Disponível em: https://tribunadonorte.com.br/economia/construcao-de-planta-piloto-no-rn-para-hidrogenio-verde-deve-iniciar-esta-semana/. Acesso em: 15 nov. 2024.

Casa dos Ventos	MOU	Porto do Pecém-CE	365.000	HBCE e Amônia	R$ 4 bilhões
Copel	P&D	Curitiba-PR	Não divulgado	Transportes	R$ 12 milhões
EDP	P&D	Porto de Pecém-CE	2.000	HBEC	R$ 5,4 bilhões
Enerfin	MOU	Porto do Rio Grande do Sul-RS	Não divulgado	Exportação - HBEC	Não divulgado
Energix	MoU	Porto do Pecém-CE	600.000	HBEC	R$5,4 bilhões
Enterprize Energy	MoU	Touros-RN	Não divulgado	HBEC - Eólica offshore	Não divulgado
Fortscue	MoU	Porto de Pecém-CE	250.000	HBEC	Não divulgado
Fortscue	Pré-contrato	Porto de Pecém-CE	305.505	HBEC	R$6 bilhões
Fortscue	MoU	Porto do Açu - RJ	250.000	HBEC	Não divulgado
Neoenergia	MoU	Fortaleza	Não divulgado	Uso de H2 em ônibus	Não divulgado
Neoenergia	MoU	Porto do Rio Grande-RS	Não divulgado	Exportação - HBEC	Não divulgado
Norte Energia	Projeto	Belo Monte - PA	120.000	Produção de Amônia	R$1,034 bilhão
PTI/Furnas	P&D	Itumbiara-GO	10	HBEC - Sinergia UHE e PV	R$45 milhões
Itaipu/PTI/Eletrobras	Planta Piloto	Foz do Iguaçu	Não divulgado	HBEC	Não divulgado
Qair	MoU	Suape - PE	488.000	HBEC	R$3,9 bilhões

Qair	MoU	Porto de Pecém-CE	488.000	HBEC	R$6,9 bilhões
Shell/Raizen/Hytron/Toyota/USP	P&D	São Paulo-SP	Não divulgado	Ônibus	R$50 milhões
Solatio/Green Energy Park	MoU	Parnaíba-PI	500.000	HBEC	R$50 bilhões
UFRJ	Projeto Piloto	Rio de Janeiro	Não divulgado	Ônibus	Não divulgado
UFSC	Planta Piloto	Florianópolis-SC	4 (HBEC) e 8 (Amônia BEC)	HBEC e Amônia BEC	R$14 milhões
Unifei	Planta Piloto	Itajubá-MG	46,5	HBEC	R$25 milhões
White Martins	MoU	Porto do Rio Grande-RS	Não divulgado	HBEC	Não divulgado
Yara/Raizen	MoU	Cubatão-SP	240	HBEC por reforma de biometano e Amônia BEC	Não divulgado

Fonte: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2024)[78], com dados do Painel Interativo EPE - Hidrogênio no Brasil (EPE, 2024).[79]

Se a energia da rede elétrica for considerada renovável o suficiente para certificações internacionais, os projetos de produção de hidrogênio verde poderiam utilizar a energia elétrica direta da rede para executar a eletrólise, diminuindo significativamente os custos citados anteriormente.

Este contexto posiciona de forma privilegiada o Brasil nesse mercado, utilizando eletrólise com energia renovável da rede nacional para a produção de hidrogênio verde. No entanto, há desafios a serem superados, como os altos custos envolvidos na cadeia de produção

[78] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Implementação do Marco Regulatório do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/relatorios/relatorio-de-implementacao-do-marco-regulatorio-do-hidrogenio-de-baixa-emissao-de-carbono-no-brasil. Acesso em: 15 nov. 2024.

[79] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Painel de Dados Interativos: Hidrogênio no Brasil. Disponível em: https://gisepeprd2.epe.gov.br/arcgisportal/apps/storymaps/stories/68332aaa3fc64524a656583e1367daa3. Acesso em: 15 nov. 2024.

de hidrogênio e a ausência de uma estratégia nacional clara para o desenvolvimento e objetivo desse mercado, conforme citado anteriormente.

Por todos esses projetos mapeados, alguns até mesmo em estágio avançado de desenvolvimento (Grupo Linde e Grupo Unigel), é possível afirmar que o mercado de hidrogênio verde no Brasil já é uma realidade consolidada, impulsionado pela sua matriz energética majoritariamente renovável e pela posição geográfica estratégica, que favorece a exportação para mercados internacionais.

A partir de 2021, com o anúncio do Hub de Hidrogênio Verde do Porto do Pecém, no Ceará, o Brasil passou a atrair significativos investimentos nacionais e internacionais, que somam bilhões de dólares, ancorados em compromissos vinculantes, como pré-contratos e memorandos de entendimento com empresas de grande porte, como Fortescue, Qair e Eneva. Esses acordos reforçam a atratividade do setor e a confiança do mercado externo no potencial do Brasil para se tornar um fornecedor competitivo de hidrogênio verde e seus derivados.

Os hubs de hidrogênio verde nos portos do Pecém, Suape e Açu refletem essa tendência e se consolidam como epicentros de projetos dedicados à produção e exportação de hidrogênio verde. Além desses três centros portuários, a diversidade de iniciativas espalhadas por outros estados brasileiros, como Bahia, Minas Gerais, Piauí e Rio Grande do Sul, corrobora com a maturidade e a solidez do mercado brasileiro de produção de hidrogênio verde. A presença de compromissos contratuais com grandes agentes do setor demonstra que o hidrogênio verde no Brasil não depende exclusivamente de incentivos governamentais para prosperar; pelo contrário, possuiria atratividade suficiente para atrair capital privado de forma independente, tanto nacional quanto estrangeiro.

Essa realidade contrapõe a visão de que o mercado de hidrogênio verde é algo disruptivo e altamente inovador, que necessitaria de incentivos extensivos para garantir sua viabilidade. O Brasil, com sua matriz energética sustentável e recursos naturais abundantes, oferece um ambiente autossustentável para o desenvolvimento desses projetos, posicionando-se como um fornecedor estratégico para o mercado global de hidrogênio verde.

Portanto, o Brasil se consolida como uma peça-chave no mapa mundial do hidrogênio verde, com oportunidades significativas para se tornar um exportador relevante de energia limpa nos próximos anos. O mercado de hidrogênio verde no Brasil já existe e está em expansão, sustentado por investimentos expressivos e acordos firmados, o que reafirma sua viabilidade e competitividade no cenário internacional.

2.4. ARCABOUÇO LEGAL E INSTITUCIONAL PARA O INCENTIVO PARA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO NO BRASIL

Conforme citado anteriormente, hidrogênio não é um combustível ou insumo industrial novo no Brasil. Para além do seu uso continuado pela Petrobras nas últimas décadas, existiram diversas iniciativas públicas do governo federal brasileiro voltadas para incentivar a produção e uso do hidrogênio. Essas iniciativas culminaram em 2021, no Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2) e posteriormente na edição da Lei 14.948/2024, principal marco legal para o mercado de hidrogênio. Mesmo assim, cabe observar que o amplo número de programas diferentes, conduzidos por diferentes entidades públicas, causou certa descontinuidade e desorganização dos esforços públicos, possibilitando o atual cenário de monopólio de facto da produção de hidrogênio pela Petrobras.[80]

Esse desenvolvimento de políticas públicas de hidrogênio teve início na década de 1990, com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) liderando as primeiras movimentações. Em 1995, o MCTI formalizou sua atuação ao estabelecer o Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH). Esse foi o primeiro movimento para organizar e centralizar as atividades de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias para o hidrogênio no país.[81]

Em 2002, o MCTI lançou o Programa Brasileiro de Células a Combustível (ProCaC), que tinha como objetivo fomentar a inovação tecnológica, por meio de projetos colaborativos entre instituições de pesquisa e o setor privado. Três anos depois, o programa foi reformulado e ampliado, passando a se chamar Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (ProH2), refletindo uma certa visão de longo prazo para a inclusão do hidrogênio na matriz energética.[82]

Em 2003, o Brasil aderiu à Parceria Internacional para Hidrogênio e Células a Combustível na Economia (IPHE), iniciativa que promove a troca de informações entre governos e setor privado sobre tecnologias de hidrogênio. A parceria, inicialmente liderada pelo

[80] AUTORIZAÇÃO SPC-ANP Nº 747 AUTORIZAÇÃO SPC-ANP Nº 477, DE 16 DE AGOSTO DE 2024 - DOU DE 19-08-2024. RMAT e REFAP
[81] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano de Trabalho Trienal do Programa Nacional do Hidrogênio 2023-2025. Brasília, 2023. p. 6-10.
[82] Ibidem.

Ministério de Minas e Energia (MME), passou a ser representada pelo MCTI em 2017 e tem viabilizado ao Brasil a se alinhar com padrões internacionais de desenvolvimento tecnológico no setor. [83] O grupo de parceria tem reuniões e relatórios de forma semestral até o presente momento.[84]

Em 2005, o MME lançou o "Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil," que estabeleceu metas de desenvolvimento de infraestrutura e tecnologias ao longo de 20 anos. Esse roteiro destacou o papel do gás natural como um combustível de transição até a maior inserção do hidrogênio verde na matriz energética e identificou segmentos prioritários para o uso do hidrogênio, como a geração distribuída em regiões isoladas e o transporte urbano por ônibus.[85]

Na sequência, em 2010, o estudo "Hidrogênio Energético no Brasil: Subsídios para Políticas de Competitividade 2010-2025" propôs recomendações para integrar o hidrogênio na economia. Esse estudo envolveu a participação de diversas agências governamentais e instituições de pesquisa, e destacou a necessidade de equilibrar investimentos em pesquisa básica e aplicada, além de incentivar o desenvolvimento tecnológico em áreas como a eletrólise e as células a combustível.

Com o passar dos anos, a agenda do hidrogênio sofreu oscilações devido a mudanças nas prioridades energéticas do país, especialmente após as descobertas de petróleo e gás no pré-sal em 2006.[86] No entanto, a criação da Associação Brasileira do Hidrogênio (ABH2) em 2017 trouxe novo impulso ao tema, facilitando a coordenação de iniciativas entre diversos órgãos governamentais, incluindo o MCTI, o MME e a ANEEL.[87]

Somente em 2020, o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050) consolidou o hidrogênio como um vetor energético essencial para a transição rumo a uma economia de baixo

---

[83] Ibidem.

[84] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio. Brasília: MME, 2021. Disponível em: https://antigo.mme.gov.br/c/document_library/get_file?groupId=36070&uuid=1385f73a-16c2-9bc3-66cf-bc45c1e0ada7. Acesso em: 15 dez. 2024.

[85] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Roteiro para Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil. Coordenação geral: Ministério de Minas e Energia; Integração técnica: Ministério de Ciência e Tecnologia; Operação: LACTEC/UFPR; Sub-coordenações: UNICAMP, CENPES, COPPE/UFRJ e INMETRO. Brasília, 2005.

[86] BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira de Hidrogênio. Nota Técnica. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-bases-para-a-consolidacao-da-estrategia-brasileira-do-hidrogenio. Acesso em: 13 nov. 2024.

[87] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano de Trabalho Trienal do Programa Nacional do Hidrogênio 2023-2025. Brasília, 2023. p. 6-10.

carbono. Esse plano propôs diretrizes para a criação de um arcabouço regulatório que abrangesse toda a cadeia de produção, transporte, armazenamento e consumo de hidrogênio, incentivando a colaboração internacional para expandir o setor.[88]

Com base nesse avanço regulatório, o MME e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) lançaram, em 2021, as "Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio." Esse documento delineou o cenário do hidrogênio no Brasil e estabeleceu diretrizes para o desenvolvimento das tecnologias energéticas relacionadas, visando aproveitar as vantagens competitivas do país, como a abundância de fontes renováveis. Mesmo assim, ainda restavam de serem definidos à nível nacional alguma política pública e programas específicos para endereçar os desafios de implementação do mercado de hidrogênio brasileiro.

Uma política pública pode ser definida como uma proposta institucionalizada de solução de um problema central, orientada por uma concepção teórica. Políticas públicas, surgem como estratégias deliberadas para endereçar problemas considerados cruciais e centrais pela administração pública.[89]

Já programas, por outro lado, constituem a materialização das soluções para as causas específicas que explicam o problema central de uma política. Enquanto a política define o macroproblema e sua abordagem estratégica, os programas se desdobram em ações específicas que visam cercar, enfrentar e mitigar as causas identificadas. Em geral, uma política pública demanda múltiplos programas, já que desafios públicos frequentemente têm natureza complexa e multicausal, requerendo intervenções paralelas e complementares.[90]

Nesse sentido, existe uma interdependência entre políticas e programas, em uma dinâmica em que as políticas oferecem uma visão mais ampla e de longo prazo, enquanto os programas atuam como instrumentos táticos para alcançar metas e resultados específicos. Dessa forma, programas tornam o problema central da política mais gerenciável, permitindo maior refinamento na identificação do público-alvo, na alocação de recursos e no estabelecimento de metas que possibilitem a medição de produtos, resultados e impactos.[91]

---

[88] BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Relatório Final do Plano Nacional de Energia 2050. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf. Acesso em: 13 nov. 2024.

[89] LASSANCE, A. O que é uma política e o que é um programa: uma pergunta simples e até hoje sem resposta clara. Boletim de Análise Político-Institucional, n. 27, p. 60-66, 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.38116/bapi27art7. Acesso em: 7 dez. 2024.

[90] Ibidem.

[91] Ibidem.

Mesmo assim, na contramão da concepção lógica de formulação de programas debaixo de políticas públicas, a Resolução CNPE nº 6 de 2022 estabeleceu o marco regulamentador para o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), antes da existência de qualquer política pública que definisse os desafios a serem endereçados a longo prazo. Essa resolução estrutura uma governança integrada e colaborativa entre o governo e outros atores do setor, e estabelece princípios para o desenvolvimento da economia do hidrogênio baseados nos pilares de futuras Políticas Públicas, Tecnologia e Mercado.[92]

Seguindo nessa toada, em maio de 2023, é proposto o Projeto de Lei 2308/2023 pelos Deputados Federais Gilson Marques e Adriana Ventura, do Partido NOVO, que visava meramente inserir na Lei 9.478/1997 (Lei do Petróleo) as definições de hidrogenio combustível, hidrogenio verde e sistema de célula de combustível, em uma primeira tentativa de segurança jurídica para os projetos de hidrogênio verde que anunciados no país após o Hub de Hidrogênio Verde do Porto de Pecém, em Fortaleza. Na motivação para apresentação do Projeto de Lei, os deputados citaram que "*A inclusão da definição em lei é também essencial para garantir a segurança jurídica e a estabilidade regulatória necessárias para atrair investimentos e impulsionar o desenvolvimento da indústria do hidrogênio verde*."[93]

Em novembro de 2023, o Deputado Federal Barcelar, do Partido Verde, apresentou um Parecer de Plenário pelas Comissões de Minas e Energia e de Constituição e Justiça e de Cidadania ao Projeto de Lei nº 2.308/2023, que votou pela aprovação do projeto na forma de um substitutivo. Esse substitutivo desenvolve de fato um marco legal para o hidrogênio, por julgar "*também apropriado disciplinar diversos outros aspectos relacionados a essa importante matéria*", apresentando o texto desenvolvido no âmbito da Comissão Especial para Estudo, Avaliação e Acompanhamento das Iniciativas e Medidas Adotadas para Transição Energética – Fontes Renováveis e Produção de Hidrogênio no Brasil, que contou com "*muitas audiências públicas e mesas redondas em vários Estados, que contaram com a participação de diversos especialistas e representantes de segmentos governamentais, empresariais e acadêmicos afetos ao tema*".[94] O texto do substitutivo foi aprovado na forma da Lei 14.948/2024.

---

[92] BRASIL. Conselho Nacional de Política Energética. Resolução CNPE nº 6, de 23 de junho de 2022. Estabelece diretrizes para o Programa Nacional do Hidrogênio. Brasília, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/2022/res_cnpe-6-2022.pdf. Acesso em: 13 nov. 2024.

[93] BRASIL. Projeto de Lei n. 2308, de 2023. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=2267302&filename=PL%202308/2023. Acesso em: 15 dez. 2024.

[94] Ibidem.

O substitutivo instituiu a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono, estabelecendo medidas para sua implementação, além dos princípios, objetivos e governança para o desenvolvimento desse mercado. Esse substitutivo foi dividido em quatro títulos diferentes.

Nesses títulos, o substitutivo definiu os aspectos relacionados à produção, usos e aplicações do hidrogênio de baixa emissão, seus derivados e carregadores; além do regramento geral de sua certificação, atribuindo espaço regulatório para melhor desenvolvimento pela agência reguladora.

Pela redação, a produção de hidrogênio, seus derivados e carreadores deve ser autorizada e regulada pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), com supervisão específica para diferentes fontes de produção. A ANP é responsável por emitir autorizações para atividades relacionadas ao hidrogênio, como transporte, armazenagem e exportação. Essa atribuição de competências expressas foi relevante para garantir a segurança jurídica para esse mercado, já que existiam diversas discussões sobre quem seria o ente regulador competente. Inclusive, nesse contexto, a ANEEL apresentou chamada pública de projetos estratégicos para produção de hidrogênio verde, demonstrando que existia intenção regulatória por parte da agência de energia elétrica.[95]

Para o contexto do presente trabalho, a inovação relevante apresentada pelo texto normativo é o uso do Sandbox Regulatório, que permite um ambiente experimental para o desenvolvimento de normas específicas relacionadas às atividades de produção e uso de hidrogênio, conforme art. 12 da Lei 14.948/2024. Segundo o art. 12, a ANP também poderia adotar soluções temporárias até que uma regulação específica fosse implementada, proporcionando flexibilidade para o crescimento do setor. Não há indicação em nenhum documento público quem seria o agente ou deputado que teria sugerido a inserção desse instrumento no substitutivo, ou quais seriam as motivações para essa inserção.

O Sistema Brasileiro de Certificação do Hidrogênio (SBCH2) é outro pilar essencial para o mercado de hidrogênio de baixa emissão. Este sistema voluntário, porém, abrangente, promove a rastreabilidade e a sustentabilidade do hidrogênio produzido no Brasil, com base em

[95] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Chamada Estratégica de PDI nº 023/2024: Hidrogênio no Contexto do Setor Elétrico Brasileiro. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/programa-de-pesquisa-desenvolvimento-e-inovacao/chamadas-de-projetos-de-pdi-estrategicos/chamada-n-o-023-2024-hidrogenio-no-contexto-do-setor-eletrico-brasileiro. Acesso em: 15 dez. 2024.

uma análise do ciclo de vida das emissões de gases de efeito estufa (GEE). O SBCH2 estabelece uma estrutura de governança que inclui uma autoridade reguladora para supervisionar o processo, definir padrões e fiscalizar empresas certificadoras. As certificações emitidas pelo SBCH2 informam a intensidade de emissões do hidrogênio e asseguram que os produtos atendam aos critérios de sustentabilidade, protegendo o mercado contra práticas não sustentáveis.

Além disso, foram instituídos instrumentos de incentivo e fomento para a indústria do hidrogênio de baixa emissão de carbono, que incluem o Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono – Rehidro e o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono – PHBC. Os incentivos foram divididos em dois grandes grupos: i) tributários, que incluem a criação de um regime especial e a expansão de benefícios das Zonas de Processamento de Exportação – ZPEs; e ii) regulatórios, que incluem descontos tarifários em energia elétrica.

Posteriormente, esse texto do substitutivo foi a principal base para o texto aprovado na Lei 14.948/2024 (Lei do Hidrogênio), que instituiu o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono, tendo sido vetado pela Presidência da República somente as disposições sobre o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono – PHBC. Aparentemente, segundo notícias de mercado, essa seção teria sido retirada por engano, sendo esperada uma nova proposição do texto relacionado em projeto de lei apartado.[96]

2.5. A REGULAMENTAÇÃO DO MARCO LEGAL DO HIDROGÊNIO VERDE

Por estabelecer disposições complexas, de difícil endereçamento pleno por um marco legal, é razoável que a administração pública edite atos normativos secundários para regulamentar e regular as disposições da Lei do Hidrogênio e a política nacional do hidrogênio de baixa emissão de carbono.

Até o presente momento, a Presidência da República não emitiu nenhuma manifestação sobre a regulamentação dos dispositivos da Lei do Hidrogênio. Mesmo assim, em paralelo, a

[96] MATTOS FILHO. Lei sancionada estabelece marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono no Brasil. Disponível em: https://www.mattosfilho.com.br/unico/lei-sancionada-marco-legal-hidrogenio/. Acesso em: 15 nov. 2024.

ANP já iniciou, por meio do Grupo de Trabalho de Hidrogênio, instituído pela Portaria ANP 148/2022[97], a análise da Lei do Hidrogênio.

O documento "Implementação do Marco Regulatório do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono" da ANP foi elaborado para orientar as ações regulatórias necessárias de serem executadas pela agência para a aplicação da Lei do Hidrogênio. Seu objetivo foi detalhar o papel da ANP na regulação desse novo setor energético, abordando aspectos operacionais, tecnológicos e regulatórios.[98]

O relatório traz informações sumariza experiências internacionais de regulação, apresentando de forma breve como as políticas públicas de outros países foram executadas, além de mapear as demandas regulatórias específicas para o Brasil para implementação da Lei 14.948/2024. O documento apresenta também as principais responsabilidades da ANP, incluindo a emissão de autorizações para produção e comercialização, o estabelecimento de critérios de segurança operacional, e a regulamentação do Sistema Brasileiro de Certificação do Hidrogênio (SBCH2).[99]

Dentre as medidas recomendadas, o documento propõe a criação de um Sandbox Regulatório para testar e adaptar regulamentações experimentais no setor de hidrogênio. Cita o grupo de trabalho que seria necessário revisar o regimento interno da ANP, de modo a reconhecer a regulação por Sandbox Regulatório como instrumento adequado ao tratamento dos projetos relacionados às atividades relacionadas à indústria do hidrogênio, que ficarão sob a responsabilidade regulatória da ANP.[100]

Além disso, sugere a necessidade de recursos técnicos e financeiros para capacitação do corpo técnico da ANP, investimentos em infraestrutura de monitoramento e certificação, e o estabelecimento de parcerias com outras entidades governamentais para o desenvolvimento de dessa metodologia regulatória. Essas ações visam garantir que a ANP tenha capacidade técnica

---

[97] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). Portaria ANP nº 148, de 19 de outubro de 2022. Institui Grupo de Trabalho para debater e definir a estratégia da ANP no âmbito do Programa Nacional do Hidrogênio - PNH2. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 20 out. 2022. Disponível em: https://atosoficiais.com.br/anp/portaria-anp-n-148-2022-institui-grupo-de-trabalho-para-debater-e-definir-a-estrategia-da-agencia-nacional-do-petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis-anp-no-ambito-do-programa-nacional-do-hidrogenio-pnh2. Acesso em: 15 dez. 2024.

[98] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). Relatório de Implementação do Marco Regulatório do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono no Brasil. Brasília: ANP, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/relatorios/relatorio-de-implementacao-do-marco-regulatorio-do-hidrogenio-de-baixa-emissao-de-carbono-no-brasil. Acesso em: 15 dez. 2024.

[99] Ibidem.

[100] Ibidem.

e operacional para supervisionar adequadamente o desenvolvimento do mercado de hidrogênio, promovendo uma transição energética segura e sustentável.

Assim, não resta claro como e sob qual modelagem a ANP utilizaria o Sandbox Regulatório para a indústria do hidrogênio, principalmente em luz dos diversos projetos já em desenvolvimento para produção de hidrogênio verde, mas resta expresso que foi intenção do legislador, e é intenção da agência, incluir a utilização dessa metodologia de regulação experimental para esse mercado.

Como discutido ao longo deste capítulo, o mercado de hidrogênio no Brasil tem características que, à primeira vista, não justificariam o uso do Sandbox Regulatório como ferramenta essencial para seu desenvolvimento.

A produção de hidrogênio no Brasil não é algo novo. O país já tem um histórico nessa área, especialmente como insumo no setor petroquímico e de refino, onde o hidrogênio é amplamente utilizado para fins industriais, como a produção de amônia e a dessulfurização de combustíveis fósseis pela Petrobras. Esse histórico revela que o hidrogênio não é um produto inovador no Brasil, já estando presente em várias operações ao longo de décadas.

Mesmo no caso do hidrogênio verde — produzido por fontes renováveis, como a energia solar e eólica —, a tecnologia envolvida não pode ser considerada uma inovação radical. O principal método utilizado, a eletrólise da água, foi desenvolvido no final do século XIX e tem sido aplicado amplamente desde então em diversas indústrias.[101] Portanto, sua adoção no Brasil é uma adaptação de uma tecnologia já madura e estrangeira, em vez de uma inovação tecnológica. O Brasil não está liderando os desenvolvimentos tecnológicos nesse setor, mas sim importando o conhecimento e a infraestrutura do mercado internacional, buscando o desenvolvimento de projetos prioritariamente para exportação.[102]

Além disso, o mercado de hidrogênio verde no Brasil, que é composto por projetos de valores bilionários, é liderado por grandes multinacionais, como Shell, Siemens, Neoenergia e EDP, que possuem amplos recursos financeiros e experiência técnica para implementar projetos de grande porte. O fato de essas empresas já serem consolidadas globalmente no setor

---

[101] LUBITZ, W.; TUMAS, W. Hydrogen: an overview. Chemical Reviews, v. 107, n. 10, p. 3900–3903, 2007. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/cr050200z?ref=article_openPDF. Acesso em: 15 dez. 2024.; e SHAPIRO, M. Understanding the electrolysis bottleneck for producing green hydrogen fuel. Physics Today, v. 76, n. 5, p. 25–30, 2023. Disponível em: https://pubs.aip.org/aip/sci/article/2023/21/211108/2892576/Understanding-the-electrolysis-bottleneck-for. Acesso em: 15 dez. 2024.

[102] Ibidem.

energético demonstra que o mercado não está sendo impedido de se desenvolver por falta de inovação ou obstáculos regulatórios.

Inclusive, válido citar que o quadro normativo em si também apresentaria certa segurança jurídica, já que a Lei do Hidrogênio estabelece bases sólidas para o desenvolvimento de uma regulação setorial pela ANP, agência eleita para essa função, restando dúvidas sobre a necessidade genérica – ou seja, sem motivação de um desafio concreto – para o uso de uma metodologia regulatória experimental, como o Sandbox Regulatório.

Como será melhor desenvolvido ao longo do Capítulo 03 da presente dissertação, o uso do Sandbox Regulatório, apesar de possuir benefícios, apresenta riscos, potencialmente sistémicos, no contexto do desenvolvimento de projetos complexos de infraestrutura e energia. Tradicionalmente, o Sandbox Regulatório é utilizado em contextos de inovação tecnológica, que enfrentam barreiras regulatórias específica, que inviabilizam investimentos. Por todo o exposto ao longo presente Capítulo, o contexto do hidrogênio verde aparenta ser diferente daquele em que o uso do Sandbox Regulatório é tradicionalmente utilizado, por ser uma tecnologia já conhecida, com um marco legal estabelecido, e com agentes que buscam o seu desenvolvimento, com amplas capacidades financeiras.

Na ausência de uma justificativa razoável para a indicação legislativa para o uso dessa metodologia experimental, resta analisar se existiria, perante a literatura especializada sobre Sandbox Regulatório, algum indicativo de modelagem própria para o contexto do hidrogênio verde brasileiro, que motivasse esse uso, em face dos riscos de sua utilização.

3. O SANDBOX REGULATÓRIO NO MARCO LEGAL DO HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL

A implementação do marco regulatório do hidrogênio de baixa emissão de carbono no Brasil, instituída pela Lei 14.948/2024, trouxe ao setor energético a possibilidade de aplicação do Sandbox Regulatório como uma metodologia inovadora para fomentar o desenvolvimento de um mercado emergente.[103]

Essa metodologia, que permite um ambiente regulatório experimental e flexível, visa facilitar a introdução de novas tecnologias e modelos de negócios, promovendo a inovação,

[103] BRASIL. Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024. Institui o marco regulatório do hidrogênio de baixa emissão de carbono. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2 ago. 2024. Disponível em: https://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Lei/L14948.htm. Acesso em: 15 dez. 2024.

enquanto mitigaria desafios associados a regulações tradicionais. No entanto, sua aplicação no contexto do hidrogênio verde levanta questões críticas sobre sua adequação e os desafios específicos do setor.

Neste capítulo, será apresentado o conceito de Sandbox Regulatório, sua modelagem e características, destacando seus benefícios e riscos. Em seguida, será analisada a experiência brasileira com o uso desse instrumento, em setores como o financeiro e o de infraestrutura.

Em razão do Sandbox Regulatório nunca ter sido utilizado ou regulamento pela ANP, o presente capítulo buscará também apresentar uma recapitulação das principais experiências de experimentalismo regulatório da agência, por meio de projetos-piloto paradigmáticos, a fim de observar como a agência lidou com esse tipo de metodologia no passado.

Essa abordagem oferece uma base sólida para discutir como o Sandbox Regulatório pode ser adaptado e implementado no contexto do hidrogênio verde, avaliando seu papel na promoção de um mercado sustentável no Brasil.

3.1. CONCEITO E MODELAGEM DO SANDBOX REGULATÓRIO

Sandbox Regulatório não é um conceito brasileiro, ou mesmo um conceito de consenso internacional. De origem britânica, foi desenvolvido como uma metodologia de experimentalismo regulatório para a administração pública, buscando permitir a inovação tecnológica para setores com barreiras regulatórias relevantes. O Sandbox Regulatório é instrumentalizado por meio de autorizações temporárias e casuísticas para a exploração de atividades econômicas específicas, em um ambiente monitorado pelo regulador, para diminuir os riscos para consumidores e contrapartes.[104]

A crise financeira de 2008 foi um dos eventos basilares para o desenvolvimento do Sandbox Regulatório no Reino Unido. Diversos foram os fatores para o desenvolvimento da crise, mas autores atribuem a sua existência ao movimento anterior de desregulação e inovação exacerbada nos mercados financeiros, citando um momento de fraqueza regulatória pré-crise (*pre-Crisis weaknesses in regulation*).[105]

---

[104] RANCHORDAS, Sofia. Experimental Regulations and Regulatory Sandboxes: law without Order?. Law & Method, v. 30, set., 2021. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3934075>. Acesso em: 10 nov. 2024, pp. 7-8

[105] ARNER, Douglas W. Financial Stability, Economic Growth and the Role of the Law. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. ARNER, Douglas W.; BARBERIS, Janos Nathan; BUCKLEY, Ross P. Regulating a

Após a crise financeira de 2008, a regulação no setor financeiro foi quase que inteiramente voltada para a proteção de consumidores e estabilidade financeira, [106] estagnando em certa medida o desenvolvimento de modelos de negócio inovadores. O rápido surgimento de novas Fintechs e a pressão pela inclusão financeira (*financial inclusion*) gerada por essas empresas disruptivas pressionou os reguladores e formuladores de políticas públicas a encontrar fórmulas para reverter esse cenário de estagnação.[107]

Por volta de 2015, diversos reguladores do setor financeiro estabeleceram estudos e movimentos, buscando formas de facilitar a inovação, visando um certo equilíbrio entre o movimento pós 2008, de forte regulação, e a necessidade do desenvolvimento de modelos de negócios inovadores para o crescimento econômico.[108]

Um primeiro movimento teria sido o estabelecimento dos centros de inovação (*innovation hubs*), por cerca de 22 países. Esses centros seriam um tipo de troca de informações institucionalizada entre os reguladores, para diminuir a curva de conhecimento necessária para novos agentes.[109]

No contexto desses esforços internacionais, a origem do conceito de Sandbox Regulatório remonta a um Relatório da Secretaria para Desenvolvimento Científico (*Office for Science*, em tradução livre) do Reino Unido, parte dos centros de inovação.[110] Buscando consolidar uma posição de liderança mundial no setor de tecnologias financeiras ("FinTech")[111], e se tornar um centro global de inovação financeira, o governo do Reino Unido

---

Revolution: From Regulatory Sandboxes to Smart Regulation. STOUT, Lynn A. Derivatives and the Legal Origin of the 2008 Credit Crisis. Harvard Business Law Review, v. 1, p. 1-38, 2011.

[106] ARNER, Douglas W.; BARBERIS, Janos N.; BUCKLEY, Ross P. FinTech, RegTech and the Reconceptualization of Financial Regulation. Northwestern Journal of International Law & Business, 2017. BAXTER, Lawrence G. Adaptive Financial Regulation and RegTech: A Concept Article on Realistic Protection for Victims of Bank Failures. Duke Law Journal, v. 66, p. 567-598, 2016.

[107] Ibidem.

[108] Ibidem.

[109] ZETZSCHE, Dirk A.; BUCKLEY, Ross P.; ARNER, Douglas W.; BARBERIS, Janos N. Regulating a Revolution: From Regulatory Sandboxes to Smart Regulation. Fordham Journal of Corporate & Financial Law, v. 23, p. 08, 2017.

[110] UNITED KINGDOM. Government Office for Science. The next five years: Priorities for science and innovation. London: Government Office for Science, 2015. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/461352/gs-15-32-go-science-next-5-years.pdf. Acesso em: 15 dez. 2024.

[111] Alguns autores conectam o desenvolvimento do Sandbox Regulatório britânico a reestruturação regulatória do Reino Unido após a crise de 2008. Conforme cita Eduardo Vianna e Cristie Ford, na esteira da crise, o Reino Unido teria abandonado o modelo de um regulador único para o setor financeiro, adotando o modelo de "*twin peaks*". A partir dessa reformulação, o FCA teria desenvolvido o Project Innovate e posteriormente o Sandbox Regulatório. Para maiores referências: VIANNA, Eduardo Araujo Bruzzi. Regulação das fintechs e sandboxes regulatórias. Dissertação (Mestrado em Direito da Regulação) – Escola de Direito do Rio de Janeiro da Fundação Getulio Vargas. Rio de Janeiro, p. 139. 2019; e FORD, Cristie. Systemic risk regulation in comparative perspective.

encomendou ao Assessor de Governo Chefe Desenvolvimento Científico (*Government Chief Cientific Advisor*, em tradução livre) uma revisão sobre os principais desafios e barreiras para o setor de FinTech até 2025.[112]

Esse Relatório foi desenvolvido utilizando um conceito de regulação voltado para a correção de falhas de mercado. A regulação como motor para o desenvolvimento mercadológico.[113] Nesse relatório, desenvolvido por especialistas no setor em cooperação com a secretaria, foram apresentados diversos aspectos relevantes para o objetivo do estudo, como riscos emergentes relacionados com o desenvolvimento de um setor tão recente, além de diversas recomendações para o governo.

O Relatório destaca principalmente que as inovações em FinTech não se limitam à tecnologia, mas também envolvem novos modelos de negócios (*business models*). Nesse setor, o avanço tecnológico permitiria que organizações financeiras otimizassem suas operações e introduzissem novos modelos, reconfigurando o comportamento dos consumidores e a própria indústria. [114]

Com essas inovações, novos entrantes, especialmente de outros setores, estariam mudando os modelos tradicionais de serviços financeiros, promovendo inclusão financeira. Contudo, isso traria riscos e falhas de mercado relacionadas, como práticas predatórias, fraudes e exploração de consumidores mal-informados.[115] A regulação teria então um dever de proteger esses consumidores e garantir a estabilidade do sistema, equilibrando segurança e inovação.

Para tanto, a abordagem proposta é a criação de "laboratórios" para testar novos modelos de FinTech em ambientes controlados, semelhante a ensaios clínicos na indústria farmacêutica,

---

University of British Columbia Faculty of Law, 2016. Disponível em <https://bit.ly/2Jo2V4b>. Acesso em 02 jun. 2018, p. 14-15.

[112] Ibidem.

[113] Alguns trechos do relatório levam a esse entendimento, como "*By nature, FinTech is designed to accomplish much of what regulators desire: it thrives on disintermediating low-value-add players, it fosters open communication, and it runs on a low-cost infrastructure and thereby minimises service delivery costs. It promotes transparency via social media and other platforms, and it seeks to grow the market by increasing the number of participants in the market, thereby supporting financial inclusion. Emerging challenges include how to create regulation for novel actors, new interactions, and unique business models in a rapidly changing environment. It will also require the foresight to incorporate the effects of not-yet-emergent technology. The system will continue to change rapidly and with new ways of doing things come new ways to potentially defraud the public or destabilise the system.*" UNITED KINGDOM. Government Office for Science. The next five years: Priorities for science and innovation. London: Government Office for Science, 2015. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/461352/gs-15-32-go-science-next-5-years.pdf. Acesso em: 15 dez. 2024. P. 37

[114] Ibidem.

[115] Ibidem.

onde modelos de negócio seriam testadas com consumidores reais, sob supervisão regulatória.[116]

Esse ambiente controlado foi chamado de "*sandbox*" pelo Relatório, onde reguladores, instituições e empresas de FinTech poderiam colaborar para alcançar um suposto equilíbrio entre a regulação, inovação e estabilidade.[117] Essa ideia foi posteriormente adotada pela Autoridade de Conduta Financeira do Reino Unido ("FCA"), que lançou seu Sandbox Regulatório em 2016, como parte do programa *Project Innovate*, permitindo que as empresas testassem novos produtos e serviços sem estarem submetidas, em um primeiro momento, a todas as regulações financeiras impostas pela FCA.[118]

A FCA desenvolveu um modelo regulatório temporário flexível e supervisionado. Por meio da criação de uma "*sandbox unit*", que seria responsável por lidar com as aplicações de Sandbox Regulatório e supervisionar o processo de teste pelas empresas de tecnologia financeira, a FCA seria capaz de tomar decisões relevantes sobre quais regulamentações flexibilizar para uma empresa FinTech específica, com a análise de cada caso concreto. O *Project Innovate* não é adaptado a uma categoria específica de empresas de tecnologia financeira. O projeto reconheceria que cada empresa de tecnologia financeira enfrenta desafios regulatórios únicos e promoveria auxílio para cada empresa individualmente, durante os testes no Sandbox Regulatório.[119]

A marca do projeto britânico seria a supervisão direta do FCA, por meio dessa análise caso a caso, na busca por um equilíbrio entre a aplicação de regulamentações essenciais para a

---

[116] Ibidem.

[117] A tradução literal do termo seria caixa de areia, abarcando a ideia de um campo experimental. Existem autores que atribuem a nomenclatura "*sandbox*" a ciência da computação, como Bruno Feigelson. Um "*sandbox environment*", na ciência da computação, é um ambiente controlado e isolado no qual programas, aplicativos ou códigos podem ser executados e testados sem afetar o restante do sistema. Esses ambientes são frequentemente utilizados para testar software desconhecido ou potencialmente inseguro, permitindo que os desenvolvedores avaliem seu comportamento sem comprometer a segurança ou estabilidade do sistema operacional principal. Em resumo, o "*sandbox environment*" proporciona um espaço seguro para experimentação e teste de software. Para maiores referências: FEIGELSON, Bruno. Sandbox: o futuro da regulação. JOTA. Disponível em: <http://bit.ly/2PCUYMB>. Acesso em: 10 set. 2024, p. 5; e JANSEN et al, Wayne. SECURITY IMPLICATIONS OF ACTIVE CONTENT. ITL Bulletin, 2000.

[118] FINANCIAL CONDUCT AUTHORITY. Regulatory Sandbox. Disponível em: https://www.fca.org.uk/firms/regulatory-sandbox. Acesso em: 15 dez. 2017.

[119] FINANCIAL CONDUCT AUTHORITY. Regulatory Sandbox Outline. Disponível em: https://www.fca.org.uk/firms/regulatory-sandbox. TRILLMICH, Philip; JOKIC, Katrina. Technology Newsflash: UK 'Regulatory Sandbox' to Foster FinTech Innovation. White & Case, 22 abr. 2016. Disponível em: https://www.whitecase.com/publications/alert/uk-regulatory-sandbox-foster-fintech-innovation. THOMAS, Luke G. The Case for a Federal Regulatory Sandbox for Fintech Companies. North Carolina Banking Institute, v. 22, p. 257, 2018. Disponível em: https://scholarship.law.unc.edu/ncbi/vol22/iss1/15.

proteção do consumidor e a flexibilização de regulamentações não necessárias que meramente sobrecarregariam a empresa FinTech.[120]

O FCA, por meio do *Project Innovate* e sua *sandbox unit*, começou a aceitar inscrições de empresas FinTech em maio de 2016, para o seu primeiro Sandbox Regulatório. Para ser elegível para o arranjo experimental, a empresa FinTech deveria operar em um dos sete setores de negócios de interesse do projeto no Reino Unido, incluindo bancos de varejo, empréstimos de varejo, seguros gerais e pensões, pensões e renda de aposentadoria, dentre outros.

Além disso, a empresa de tecnologia financeira deveria satisfazer alguns critérios para ser qualificada de forma subjetiva: (1) a empresa FinTec deveria estar buscando oferecer inovação no setor financeiro do Reino Unido; (2) a inovação deveria ser disruptiva ou significativamente diferente daquelas já existentes no setor; (3) a inovação deveria beneficiar consumidores e promover a concorrência; (4) a empresa FinTech deveria demonstrar uma necessidade genuína de testar sua inovação dentro do Sandbox Regulatório; e (5) a empresa FinTech deveria ter um plano e estar minimamente preparada, segundo padrões do FCA, para testar e estar preparada para testar a inovação.[121]

Em um primeiro momento, o Sandbox Regulatório do FCA foi desenvolvimento para funcionar em um modelo de editais, utilizando chamadas públicas/rodadas anuais para o chamamento de projetos. Mesmo assim, desde 2021, após 07 chamadas públicas/rodadas anuais, o programa teria sido ajustado para um modelo de ofertada permanente, ou balcão, no qual as regras para habilitação estariam dispostas de forma contínua, bastando que o agente interessado aplicasse sua documentação para habilitação e participação. Ao todo, o programa teria recebido 630 solicitações de participação, tendo sido 176 empresas aceitas para seguir e participar do programa.[122]

Para garantir a flexibilidade regulatória alvo do Sandbox Regulatório, o FCA disporia de três instrumentos de regulação aplicável para as empresas participantes, que seriam: *(a)* as "*No enforcement action letters*", que seriam compromissos de não perseguição pela administração, em razão do descumprimento de certas regras regulatórias aplicáveis para a

---

[120] THOMAS, Luke G. The Case for a Federal Regulatory Sandbox for Fintech Companies. North Carolina Banking Institute, v. 22, p. 263, 2018. Disponível em: https://scholarship.law.unc.edu/ncbi/vol22/iss1/15.

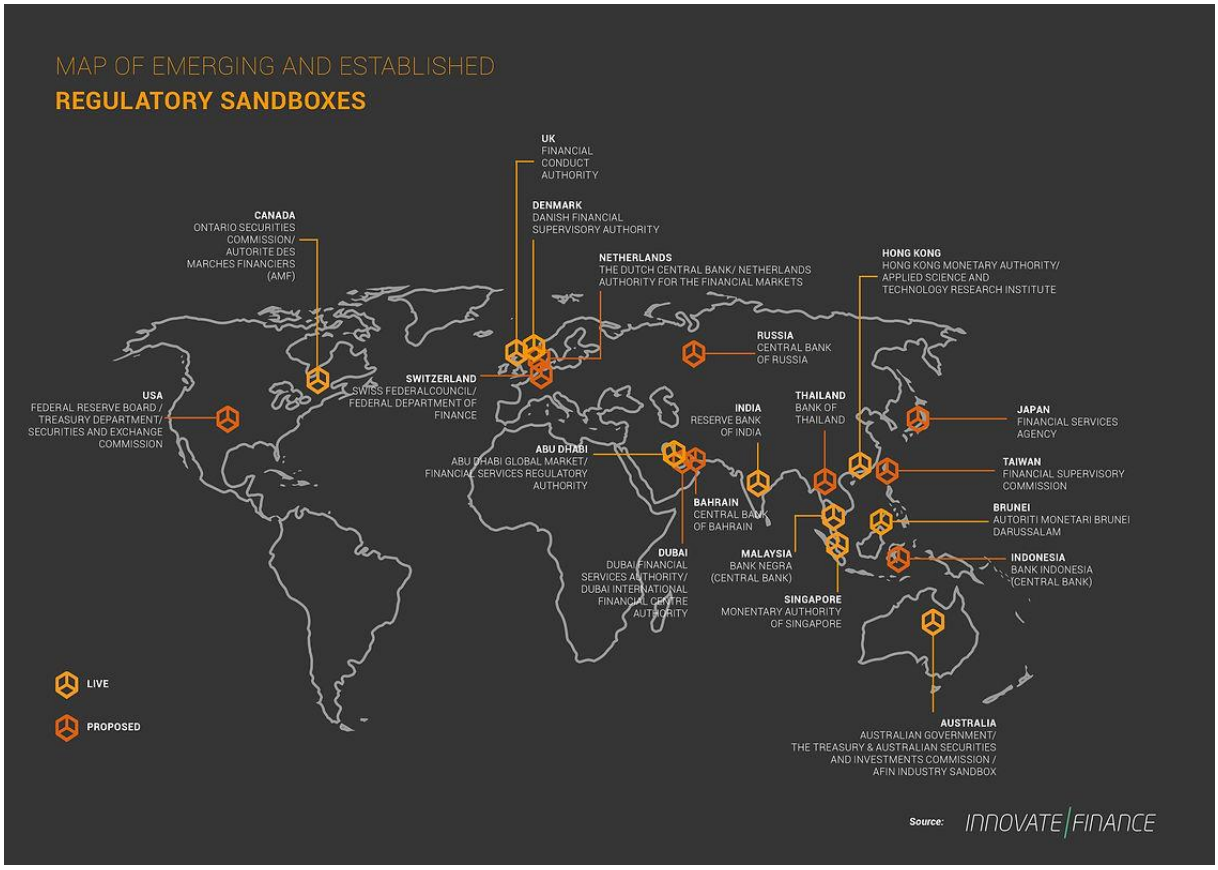
[121] FINANCIAL CONDUCT AUTHORITY. How to Prepare a Sandbox Application. Disponível em: https://www.fca.org.uk/firms/regulatory-sandbox/prepare-application. Última atualização em: 15 dez. 2017. THOMAS, Luke G. The Case for a Federal Regulatory Sandbox for Fintech Companies. North Carolina Banking Institute, v. 22, p. 264, 2018. Disponível em: https://scholarship.law.unc.edu/ncbi/vol22/iss1/15.

[122] Dados obtidos a partir do website da FCA: <https://www.fca.org.uk/firms/innovation/regulatory-sandbox/accepted-firms>

atividade econômica pretendida; *(b)* os direcionamentos regulatórios individuais, que seriam instrumentos orientativos, pelos quais a administração pública responderia consultas, orientando sobre a leitura e interpretação da agência sobre certos tópicos de interesse do participante; e *(c)* as dispensas regulatórias, que seriam modificações na aplicação de certas regras, conforme a necessidade do caso concreto, para condutas que seriam consideradas infrações administrativas.[123]

Por conta do contexto da crise financeira de 2008, diversas jurisdições internacionais seguiram o exemplo britânico, desenvolvendo experiências nacionais de Sandbox Regulatório, sendo alguns exemplos a Austrália, Países Baixos e Singapura, ainda em 2016, seguidos pelo Canadá, em 2017.[124] Ao menos 57 países contariam atualmente com tipos de Sandbox Regulatório em suas jurisdições. [125] Mesmo assim, o conceito, terminologia [126], objetivos, governança e a própria modelagem do Sandbox Regulatório foram adaptados pelos contextos locais ao longo dos anos. Para ilustração, abaixo um esquema gráfico de referência, que não está totalmente atualizado:

[123] FINANCIAL CONDUCT AUTHORITY. Regulatory Sandbox. Novembro de 2015. Disponível em: https://www.fca.org.uk/publication/research/regulatory-sandbox.pdf. Acesso em: 10 out. 2024, p. 9.
[124] HERRERA, Diego; VADILLO, Sonia. Sandbox *regulatório na América Latina e Caribe para o ecossistema FinTech e o sistema financeiro*. Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2018. Disponível em: <https://publications.iadb.org/en/regulatory-sandboxes-latin-america-and-caribbean-fintech-ecosystem-and-financial-system>. Acesso em: 23 out. 2024, p. 10
[125] BRASIL. Tribunal de Contas da União; FASSIO, Rafael. *Sandbox Regulatório no Marco Legal das Startups*. Brasília: TCU, Laboratório de Inovação, 2023, p. 13
[126] O termo de incidência recorrente para regimes experimentais utilizados pela administração pública para inovação de fato é *regulatory sandbox*, mas países frequentemente utilizam nomenclaturas próprias, para corresponder a necessidades de seus ambientes normativos internos, como *experimental legal regime*, *special regulatory regime*, ou *innovation testing environment*. Para maiores referências: ALAASSAR, Ahmed; MENTION, Anne-Laure; AAS, Tor Helge. Exploring a new incubation model for FinTechs: Regulatory sandboxes. Technovation, v. 103, p. 102237, 2021. DOI: 10.1016/j.technovation.2021.102237. NATIONAL BANK OF GEORGIA. Completed Projects. Disponível em: https://nbg.gov.ge/en/page/completed-projects. Acesso em: 1 nov. 2021.



Fonte: Innovate/Finance

Por um mapeamento do Banco Mundial, existiriam ao menos quatro categorias de Sandboxes Regulatórios: (i) focados em políticas públicas (*Policy-focused sandboxes*), que utilizariam sua estrutura para analisar determinadas regulamentações ou políticas públicas; (ii) focados em inovação ou produtos (*Innovation- or product-focused sandboxe*), que incentivariam a inovação, reduzindo o custo de entrada de novos entrantes em mercado regulamentado, permitindo que as empresas testem a viabilidade de mercado de novos modelos de negócios"; (iii) temáticos (*Thematic sandboxes*), que focariam em um tema específico para acelerar a opção por uma política específica ou inovação, ou apoiar o desenvolvimento de um determinado subsetor/produtos específicos voltados para segmentos populacionais; e (iv) transfronteiriços (*Cross-border sandboxes*), que apoiariam o movimento e as operações transfronteiriças de companhias, ao mesmo tempo em que incentivariam a cooperação regulatória e reduzem a arbitragem regulatório[127].

[127] WORLD BANK. *Global Experiences from Regulatory Sandboxes*. Fintech Note, n. 8, 2020. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/b8c4ba7c-d327-5d3e-a0e9-87c6815463b4/content>. Acesso em: 20 dez. 2023, p. 20.

No contexto brasileiro, por ser um conceito recente, ainda de pouca exploração na literatura nacional, se comparado com outros institutos clássicos do Direito brasileiro, não há consenso pleno sobre a natureza jurídica, classificação doutrinária ou mesmo metodologia para desenvolvimento de um Sandbox Regulatório.

José Vicente Mendonça, por exemplo, afirma que os Sandboxes Regulatórios teriam natureza jurídica de autorizações administrativas de caráter temporário, concedidas pela administração pública para agentes particulares.[128] Já Eduardo Bruzzi entende que Sandboxes Regulatórios teriam natureza jurídica de incentivo regulatório, como um instrumento de fomento administrativo, tendo como pilar indutivo a isenção normativo-regulatória temporária.[129][130] Em paralelo, Juliano Heinen apresentaria posição contrária, mais abrangente, na qual a figura do Sandbox Regulatório seria uma metodologia de construção regulatória em determinado setor.[131]

O presente trabalho se alinha a posição construída por Juliano Heinen, por sua característica abrangente sobre os propósitos do Sandbox Regulatório. Cesar Henrique Ferreira Lima em sua Dissertação de Mestrado, sobre o Sandbox Regulatório, alinhado com a visão de Juliano Heinen, qualifica essa figura como um instituto que corporifica o experimentalismo jurídico-administrativo no campo do direito administrativo da experimentação, junto do instituto dos laboratórios de inovação.[132]

Cesar Henrique Ferreira Lima, em um esforço para catalogar os fundamentos jurídico-constitucionais do experimentalismo jurídico-administrativo, embasa o uso dessa metodologia instituto no princípio da eficiência administrativa, e alguns dispositivos relacionados com a

---

[128] MENDONÇA, José Vicente. Qual a natureza jurídica dos *sandboxes* regulatórios? *Portal Jota*. Disponível em: <https://www.jota.info/opiniao-e-analise/colunas/publicistas/qual-a-natureza-juridica-dos-sandboxes-regulatorios-03032020>. Acesso em: 12 nov. 2024.

[129] VIANNA, Eduardo Araújo Bruzzi. *Regulação das Fintechs e Sandboxes Regulatórias*. 169 f. 2019. Dissertação (Mestrado em Direito da Regulação). Escola de Direito do Rio de Janeiro da Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2019, p. 128

[130] O *Financial Stability Board*, organização internacional criada no âmbito dos encontros do G20, inclui Sandbox Regulatório dentro da classificação de instrumento regulatório facilitador de inovação. Para aprofundamento: FSB (Financial Stability Board). Financial Stability Implications from FinTech: Supervisory and Regulatory Issues that Merit Authorities Attention. Basel: FSB, 2017. Disponível em: https://www.fsb.org/wp-content/uploads/R270617.pdf. Acesso em: 15 nov. 2024.

[131] HEINEN, Juliano. Regulação experimental ou sandbox regulatório – compreensões e desafios. *Revista da Faculdade de Direito UFPR*, Curitiba, v. 68, n. 1, pp. 113-136, jan./abr. 2023. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/direito/article/view/85389>. Acesso em: 30 out. 2024, p. 124

[132] LIMA, Cesar Henrique Ferreira. Direito administrativo da experimentação: fundamentos, possibilidades, limites e experiências práticas na realidade brasileira. 2024. 277 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Ordem Econômica e Financeira Constitucional e com a Ordem Social Constitucional, nos artigos 37[133], 174[134] e 218[135] da Constituição Federal.

Em síntese, no artigo 37, a Constituição Federal atribuiria para a administração pública uma diretriz geral de eficiência, conectada com a otimização e racionalização dos recursos administrativos[136], relacionando-se com a avaliação dos meios e procedimentos de trabalho utilizados pela administração e com a avaliação dos fins obtidos a partir do uso dos seus meios.[137]

Em paralelo, os artigos 174 e 218 da Constituição Federal atribuem competências diretas para o Estado sobre a ordem econômica, como agente regulador que deve atribuir planejamento indicativo para o setor privado, assim como promotor e incentivador da inovação.

Em que pese as relevantes discussões sobre a necessidade de ato normativo primário (lei em sentido estrito)[138], ou a suficiência de ato normativo secundário[139], para a instituição de Sandbox Regulatório pela administração pública brasileira, a Lei Complementar nº 182/2021 (Marco Legal das Startups) apresentou autorização expressa para que entes reguladores com competência setorial possam, individualmente ou em colaboração, afastar a incidência de normas sob sua competência em relação à entidade regulada ou aos grupos de entidades

---

133 "*Art. 37. A administração pública direta e indireta de qualquer dos Poderes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios obedecerá aos princípios de legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência e, também, ao seguinte:*"BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Art. 37.

134 "*Art. 174. Como agente normativo e regulador da atividade econômica, o Estado exercerá, na forma da lei, as funções de fiscalização, incentivo e planejamento, sendo este determinante para o setor público e indicativo para o setor privado*." BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Art. 174.

135 "*Art. 218. O Estado promoverá e incentivará o desenvolvimento científico, a pesquisa, a capacitação científica e tecnológica e a inovação*." BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Art. 218.

136 LIMA, Cesar Henrique Ferreira. Direito administrativo da experimentação: fundamentos, possibilidades, limites e experiências práticas na realidade brasileira. 2024. 277 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.p. 56

137 VALENTE, Patrícia Pessoa. *Análise de Impacto Regulatório*. 1ª ed.. Belo Horizonte: Fórum, 2013. Disponível em: <https://www.forumconhecimento.com.br/livro/L1258>. Acesso em: 7 jan. 2024, p. 108; e MONTEIRO, Vera. As leis de procedimento administrativo: uma leitura operacional do princípio constitucional da eficiência. In: SUNDFELD, Carlos Ari; MUÑOZ, Guillermo Andrés (Org.). *As leis de processo administrativo*. São Paulo: Malheiros, 2006, p. 348.

138 HEINEN, Juliano. Regulação experimental ou sandbox regulatório – compreensões e desafios. Revista da Faculdade de Direito UFPR, Curitiba, v. 68, n. 1, pp. 113-136, jan./abr. 2023. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/direito/article/view/85389>. Acesso em: 30 out. 2024, p. 130

139 FEIGELSON, Bruno. *Sandbox e o direito exponencial*. Tese (Doutorado em Direito da Cidade), Faculdade de Direito, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019, p. 207

reguladas, no âmbito de programas de ambiente regulatório experimental (Sandbox Regulatório).[140]

A Lei Complementar nº 182/2021 estabelece a definição de ambiente regulatório experimental (Sandbox Regulatório) como conjunto de condições especiais simplificadas para que as pessoas jurídicas participantes possam receber autorização temporária dos órgãos ou das entidades com competência de regulamentação setorial para desenvolver modelos de negócios inovadores e testar técnicas e tecnologias experimentais, mediante o cumprimento de critérios e de limites previamente estabelecidos pelo órgão ou entidade reguladora e por meio de procedimento facilitado.

Ainda, em seu art. 11, parágrafo 3º, a Lei Complementar 182/2021 dispõe diretamente sobre a modelagem do Sandbox Regulatório, ao citar que que o órgão competente deve regrar o funcionamento do programa de ambiente regulatório experimental, estabelecendo: i) os critérios para seleção ou para qualificação do regulado; ii) a duração e o alcance da suspensão da incidência das normas; e iii) as normas abrangidas

De forma mais específica, Carina de Castro Quirino, Helena Hocayen e Marcella Flores da Cunha desenvolvem que existem quatro características principais[141] que devem compor a modelagem de um Sandbox Regulatório, posição que o presente trabalho se alinha: "(*i) o afastamento das regras e normas aplicáveis para a testagem de determinado produto ou serviço; (ii) a delimitação do escopo da testagem; (iii) a delimitação temporal da testagem; e (iv) a observação e avaliação constante dos resultados*"[142].

O afastamento das regras e normas aplicáveis é a característica central que confere ao Sandbox Regulatório seu caráter inovador e experimental. Ele possibilita que determinadas exigências normativas sejam temporariamente afastadas ou ajustadas, criando um ambiente flexível para que produtos e serviços inovadores possam ser testados de forma controlada. Essa característica parte do reconhecimento de que o arcabouço regulatório tradicional, muitas vezes,

---

[140] BRASIL. Lei Complementar nº 182, de 1º de junho de 2021. Institui o Marco Legal das Startups e do Empreendedorismo Inovador, dispõe sobre as formas de atuação da administração pública em relação ao setor e altera as Leis nº 6.404, de 15 de dezembro de 1976, e nº 8.666, de 21 de junho de 1993. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2 jun. 2021.

[141] Outros autores internacionais citam somente três características, como ALLEN, Hilary J. Regulatory sandboxes. Law & Society: Private Law - Financial Law eJournal, 2019. p. 5-10. Disponível em: https://scholarship.law.georgetown.edu/facpub/2264/. Acesso em: 29 set. 2024.

[142] QUIRINO, Carina de Castro; HOCAYEN, Helena Gouvêa de Paula; CUNHA, Marcella Brandão Flores da. Sandbox regulatório: instrumento experimentalista à disposição da Administração Pública local como suporte ao desenvolvimento econômico. *Revista de Direito Público da Economia – RDPE*, Belo Horizonte, ano 21, n. 84, p. 9-33, out./dez. 2023, p. 16.

não acompanha o ritmo acelerado das inovações tecnológicas e dos novos modelos de negócios. Ao suspender provisoriamente as regras que poderiam representar barreiras à entrada ou ao desenvolvimento desses novos agentes econômicos, o Sandbox Regulatório oferece uma oportunidade para o aprendizado regulatório.[143]

No entanto, o afastamento normativo não significaria uma desregulamentação, mas sim um processo supervisionado, no qual o regulador mantém o controle sobre os experimentos e, se necessário, pode reintroduzir as normas afastadas ou ajustar os parâmetros de teste. Assim, a flexibilidade normativa permite não apenas a redução de barreiras, mas também uma análise mais precisa dos riscos associados às inovações.[144]

A delimitação do escopo da testagem é essencial para a efetividade do Sandbox Regulatório, pois estabelece os limites para o experimento. Esse escopo abrangeria a definição clara do produto ou serviço que será testado, bem como dos objetivos específicos do experimento, o público-alvo envolvido e os critérios de participação. Sem essa delimitação, o Sandbox pode se tornar um ambiente de experimentação desordenado, potencialmente comprometendo a qualidade dos resultados e dificultando a análise de impactos. Por exemplo, no caso de inovações tecnológicas voltadas para o setor financeiro, é necessário identificar previamente os segmentos de mercado afetados, os benefícios esperados para os consumidores e os riscos potenciais que podem surgir.[145]

A definição do escopo também auxilia na coleta de dados mais precisos e relevantes, garantindo que os resultados obtidos sejam representativos e sirvam de base para a formulação de políticas públicas. Além disso, a delimitação do escopo ajuda a evitar o uso indiscriminado do Sandbox, restringindo sua aplicação a casos em que as inovações testadas realmente justifiquem a flexibilização regulatória.[146]

A delimitação temporal da testagem confere ao Sandbox Regulatório o caráter transitório que o distingue de outras metodologias de regulação. Essa característica reflete a preocupação em assegurar que os experimentos sejam conduzidos dentro de um período claramente definido, permitindo a coleta de dados suficientes para avaliação, mas sem comprometer a estabilidade regulatória a longo prazo. O tempo de testagem deveria ser cuidadosamente calibrado pelo regulador: deve ser suficientemente longo para que os impactos

[143] Ibidem.
[144] Ibidem.
[145] Ibidem.
[146] Ibidem.

da inovação possam ser analisados em profundidade, mas também limitado para evitar a perpetuação de condições normativas excepcionais.[147]

Essa transitoriedade do Sandbox reforça a natureza como uma metodologia para aprendizado regulatório, permitindo que o regulador extraia conclusões sobre o comportamento do mercado e ajuste as normas de forma informada. Além disso, ao estabelecer um prazo definido para testes, seria possível evitar a criação de um ambiente de mercado paralelo pelo Sandbox Regulatório, que ofereceria às empresas participantes vantagens competitivas permanentes.[148]

A avaliação constante dos resultados é pilar fundamental do Sandbox Regulatório, para garantir que os experimentos sejam acompanhados de forma contínua e rigorosa. Durante o período de testagem, é essencial que os reguladores monitorem os impactos das inovações em tempo real, analisando como os produtos ou serviços testados afetariam o mercado como um todo. Esse monitoramento contínuo permitiria que ajustes fossem feitos de maneira dinâmica, mitigando riscos não previstos.[149]

Além disso, a avaliação constante dos resultados não apenas sustenta a tomada de decisão regulatória, como também contribui para a construção de um arcabouço normativo mais eficiente e alinhado às necessidades do mercado. Essa característica destaca o papel do Sandbox como uma ferramenta de aprendizado baseada em evidências. Ao final do ciclo experimental, a análise detalhada dos resultados é crucial para determinar se as condições normativas excepcionais devem ser incorporadas, ajustadas ou descartadas.[150]

Segundo Carina de Castro Quirino, Helena Hocayen e Marcella Flores da Cunha, essas quatro características formam a base de um modelo estruturado e eficaz de Sandbox Regulatório. As características garantem que o ambiente experimental seja conduzido de maneira responsável, permitindo que a inovação prospere sem comprometer os objetivos regulatórios de proteção ao consumidor e estabilidade do mercado.[151]

Dando continuidade às reflexões sobre a estruturação de instrumentos de experimentalismo regulatório, destaca-se a proposta de Cesar Henrique Ferreira Lima, que sugere um ciclo estruturado em seis passos fundamentais para orientar a Administração Pública

[147] Ibidem.
[148] Ibidem.
[149] Ibidem.
[150] Ibidem.
[151] Ibidem.

na construção e aplicação de soluções experimentais. Essa abordagem, alinhada ao pragmatismo das atividades administrativas, busca garantir que as características discutidas anteriormente — afastamento normativo, delimitação de escopo, temporalidade e avaliação contínua — sejam integradas de maneira sistemática e eficaz na modelagem de instrumentos de experimentalismo, como Sandboxes Regulatórios e laboratórios de inovação.[152]

O primeiro passo proposto é a constatação de um problema público, etapa inicial e indispensável para justificar a criação de um instrumento experimental. Essa fase exige da Administração Pública uma análise criteriosa da realidade social e econômica, com o objetivo de identificar lacunas regulatórias, ineficiências ou desafios concretos que impactem o interesse público. A identificação precisa do problema é essencial para evitar iniciativas experimentais desnecessárias ou mal direcionadas, além de proporcionar uma base sólida para as etapas subsequentes.[153]

Com o problema público identificado, o próximo passo é a elaboração de alternativas possíveis para sua solução. Essa etapa envolve a formulação de hipóteses inovadoras e estratégias viáveis, considerando a viabilidade técnica, normativa e econômica. É neste ponto que o administrador público deve avaliar os possíveis impactos das alternativas propostas, ponderando os benefícios e riscos associados a cada uma. A análise de amparo legal também é crucial, assegurando que as soluções experimentais respeitem os limites normativos e estejam alinhadas aos princípios constitucionais.[154]

O terceiro passo consiste na definição do conteúdo da solução experimental, que compreende a delimitação dos objetivos, escopo e alcance do experimento. Nesta etapa, é necessário especificar quais aspectos do problema público serão abordados pela solução experimental, quais métricas de sucesso serão utilizadas e como o experimento será monitorado. A clareza e o detalhamento dessa definição são fundamentais para garantir que o experimento tenha um propósito bem definido e contribua efetivamente para a resolução do problema.[155]

Na sequência, ocorre o processo de seleção e admissão de participantes, que deve ser conduzido com transparência e objetividade. Os critérios de seleção precisam ser claros e alinhados aos objetivos do experimento, priorizando agentes com capacidade técnica e

---

[152] LIMA, Cesar Henrique Ferreira. Direito administrativo da experimentação: fundamentos, possibilidades, limites e experiências práticas na realidade brasileira. 2024. 277 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024. P. 187
[153] Ibidem.
[154] Ibidem.
[155] Ibidem.

relevância para a solução proposta. Além disso, a participação no experimento deve ser conduzida de forma a assegurar isonomia, evitando favorecimentos indevidos e garantindo que todos os envolvidos contribuam para a obtenção de dados relevantes.[156]

O quinto passo é a implementação controlada da solução experimental, que marca o início do experimento em ambiente supervisionado. Durante essa fase, a Administração Pública deve monitorar continuamente os impactos e os resultados do experimento, realizando ajustes conforme necessário para garantir sua eficiência e segurança. A supervisão constante é essencial para evitar desvios que possam comprometer o experimento ou gerar riscos excessivos para os envolvidos e para o mercado.[157]

Por fim, o ciclo é finalizado com o encerramento da solução experimental e a análise de seus resultados. Nesta etapa, a Administração Pública deve avaliar, de forma abrangente, os dados coletados durante o experimento, identificando os aprendizados obtidos e as implicações regulatórias ou práticas da solução testada. Com base nessa análise, é possível decidir pela adoção da solução em larga escala, sua modificação para novos testes ou, eventualmente, seu descarte. A disseminação dos resultados e o compartilhamento das lições aprendidas também são elementos importantes dessa fase, contribuindo para a evolução contínua da regulação experimental.[158]

Mesmo que a administração pública não seja vinculada, o ciclo formulado por Cesar Henrique Ferreira Lima reforça a ideia de que a experimentação não é apenas um mecanismo de flexibilização regulatória, mas uma ferramenta estratégica para enfrentar problemas complexos e promover avanços em políticas públicas e na governança administrativa.[159]

3.2. RISCOS E BENEFÍCIOS DO USO DE SANDBOXES NA REGULAÇÃO

Embora o presente trabalho tenha apresentado diversas perspectivas positivas sobre o Sandbox Regulatório, assim como qualquer instituto jurídico aplicável para a administração pública, existem benefícios e riscos aplicáveis ao seu uso. Inclusive, diversos países decidiram

[156] Ibidem.
[157] Ibidem.
[158] Ibidem.
[159] Ibidem.

não utilizar Sandbox Regulatório em suas jurisdições, por considerarem que os riscos superavam os benefícios em seus contextos nacionais, como França e Luxemburgo.[160]

Nos principais trabalhos que dissertam sobre o uso do Sandbox Regulatório no contexto brasileiro, existe certo silêncio sobre a existência de riscos para a utilização dessa metodologia.[161] O presente trabalho não pretendo discutir as motivações para esse silêncio, mas existiria certa "boa vontade" da literatura brasileira para a expansão dessa metodologia na jurisdição nacional, que poderia funcionar como uma "bala de prata" para os obstáculos das agências reguladoras em promover regulação eficiente para setores inovadores, desconsiderando os riscos relacionados.

Ao analisar diversas referências de literatura especializada sobre o assunto, o presente trabalho decidiu dividir os benefícios e riscos na aplicação do Sandbox Regulatório em dois prismas: i) sob o prisma institucional, considerando os benefícios e riscos que a administração pública, na figura dos entes reguladores, incorre quando opta pelo uso; e ii) sob o prisma de mercado, considerando os benefícios e riscos que os participantes e consumidores do produto ou serviço inovador incorrem.

Em primeiro lugar, sob o prisma institucional. Em resumo, os principais benefícios são voltados para a diminuição da curva de aprendizagem da administração em um mercado inovador, pela redução da assimetria de informações entre o regulador e os agentes regulados, possibilitando uma regulação eficaz, em um contexto de baixas disposição financeira da agência reguladora para implementar uma regulação setorial do zero.

Pela característica básica de monitoramento constante e acompanhamento do desenvolvimento das atividades do participante do Sandbox Regulatório, existe um aprendizado mútuo entre o administrador público e o agente participante, permitindo para a administração pública desenvolver, com menores custos e maior eficiência uma regulação eficaz para a inovação.[162] Essa metodologia possibilita um ambiente experimental para o participante e para

---

[160] COUTINHO FILHO, Augusto. Regulação 'Sandbox' como instrumento regulatório no mercado de capitais: principais características e prática Internacional. *Revista Digital de Direito Administrativo*, v. 5, n. 2, jul., 2018. Disponível em: <https://ww.revistas.usp.br/rdda/article/view/141450/146135>. Acesso em: 9 nov. 2024, pp. 279-280.

[161] LIMA, Cesar Henrique Ferreira. Direito administrativo da experimentação: fundamentos, possibilidades, limites e experiências práticas na realidade brasileira. 2024. 277 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024. P. 118

[162] QUIRINO, Carina de Castro; HOCAYEN, Helena Gouvêa de Paula; CUNHA, Marcella Brandão Flores da. Sandbox regulatório: instrumento experimentalista à disposição da Administração Pública local como suporte ao desenvolvimento econômico. *Revista de Direito Público da Economia – RDPE*, Belo Horizonte, ano 21, n. 84, p. 9-33, 10 nov. 2024, p. 10

a administração pública, que também pode testar as suas ferramentas, mantendo diálogo constante e acompanhamento dos efeitos sobre a inovação.[163]

Nesse sentido também, existiria um benefício claro na redução da assimetria de informações mútua que, em geral, existe no contexto de inovações, com o participante tendo certo desconhecimento sobre a aplicação de regras regulatórias no sistema estabelecido pelo ente regulador, e esse último dispondo de poucas informações sobre as características e consequências dessa inovação para o seu espaço regulatório.[164]

Além disso, Cesar Henrique Ferreira Lima entende que a utilização do Sandbox Regulatório poderia ser a solução para o Dilema de Collingridge.[165] O Dilema de Collingridge destaca a dificuldade em regular inovações tecnológicas de maneira eficiente, devido à ampla incerteza em estágios iniciais e à rigidez em estágios avançados. Quando uma tecnologia é introduzida, há pouca clareza sobre seus impactos futuros, o que dificulta a regulação informada. Por outro lado, quando esses impactos se tornam evidentes, a tecnologia pode estar difundida, tornando as intervenções regulatórias mais desafiadoras.[166]

Ainda sob o prisma institucional, residem riscos sobre a aplicação da metodologia de Sandbox Regulatório. Esses riscos são principalmente relacionados com a ausência de capacidade regulatória para a operação eficiente da metodologia e a possível captura dos entes reguladores por agentes que buscam a suspensão de regras regulatórias de forma não motivada para o desenvolvimento de suas atividades econômicas de interesse. Além disso, nesse contexto, é possível o desenvolvimento de arbitragens regulatórias por parte dos participantes, que podem buscar aproveitar as diferenças ou lacunas dentre as regras aplicadas dentro e fora de um Sandbox Regulatório para maximizar seus benefícios (um tipo de *Forum Shopping* no contexto da utilização dessa metodologia).

---

[163] OLIVEIRA, Leandro. O Marco Legal das *Startups* e do Empreendedorismo Inovador. In: MORETTI, Eduardo; OLIVEIRA, Leandro Antonio Godoy. (Orgs.). *Startups*: aspectos jurídicos relevantes, v. 2, 2022, p. 25

[164] PELLIN, Daniela; ENGELMANN, Wilson. Sandbox regulatorio como fuente de derecho en caso de la disrupción nanotecnológica brasileña. Mundo Nano. *Revista Interdisciplinaria En Nanociencias Y Nanotecnología*, v. 15, n. 28, pp. 1-17, 2021. Disponível em: <http://mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/69671>. Acesso em: 23 out. 2024, p. 12.

[165] LIMA, Cesar Henrique Ferreira. Direito administrativo da experimentação: fundamentos, possibilidades, limites e experiências práticas na realidade brasileira. 2024. 277 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024

[166] BAPTISTA, Patrícia; KELLER, C. Por que, quando e como regular as novas tecnologias?: os desafios trazidos pelas inovações disruptivas. Revista de Direito Administrativo, v. 273, 2017. Disponível em: https://periodicos.fgv.br/rda/article/view/66659. Acesso em: 17 nov. 2024; e COLLINGRIDGE, David. The social control of technology. Nova York: St. Martin's Press, 1980.

O exercício do poder regulatório é complexo e dispendioso, for envolver diversas etapas de trabalho especializado para a Administração Pública, como: i) elaboração de normas gerais; ii) fiscalização do cumprimento de tais normas e aplicação de penalidades relacionadas com o descumprimento; iii) a disseminação de informações sobre as melhores práticas do exercício das atividades reguladas; e iv) resolução de conflitos relacionadas com a interpretação de tais normas gerais.[167]

O Sandbox Regulatório é uma metodologia sofisticada, que necessita, no contexto do exercício eficiente do poder regulatório de tempo, recursos humanos e elevado nível de comprometimento institucional[168]. São necessárias equipes preparadas e engajadas, tanto para os órgãos reguladores, tanto para as entidades reguladas, em vista do amplo planejamento relacionado, monitoramento e análise dos resultados produzidos[169]. Em que pese a curva de aprendizagem e a diminuição da assimetria de informações citada anteriormente, o Sandbox Regulatório impõe um tempo de ação da administração relacionado com a própria extensão temporal do experimento, em vista das expectativas do ente participante por estabilidade e segurança jurídica para o desenvolvimento da inovação.[170]

Entes reguladores brasileiros, como parte da administração pública nacional, enfrentam dificuldades orçamentárias e sobrecarga de competências constantes.[171] O uso da metodologia de Sandbox Regulatório sem uma capacidade regulatória suficiente do ente regulador pode causar distorções maiores para o mercado, pela introdução de uma inovação de forma temporária, que sofrerá posteriormente com as incertezas causadas pela morosidade administrativa.

No contexto da necessidade de desenvolvimento de infraestruturas complexas e projetos de elevado capital inicial necessário, é comum a celebração de contratos de financiamento e

---

[167] GUERRA, Sérgio (Org.). Regulação no Brasil: uma visão multidisciplinar. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2013

[168] BRASIL. Tribunal de Contas da União; FASSIO, Rafael. Sandbox Regulatório no Marco Legal das Startups. Brasília: TCU, Laboratório de Inovação, 2023, p. 12.

[169] MODESTO, Paulo. Sandbox regulatório e experimentação administrativa. *Consultor Jurídico – CONJUR*. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2024-fev-01/sandbox-regulatorio-e-experimentacao-administrativa/>. Acesso em: 10 fev. 2024.

[170] Ibidem.

[171] NOIA, Julia. Uma em cada três vagas do serviço público federal está desocupada. Falta de pessoal afeta servidores e população. Jornal Extra. Disponível em: <https://extra.globo.com/economia/servidor-publico/noticia/2023/03/uma-em-cada-tres-vagas-do-servico-publico-federal-esta-desocupada-falta-de-pessoal-afeta-servidores-populacao-25670598.ghtml>. Acesso em: 30 out. 2024; e VELOSO, Isabel; IZIDORIO, Leonardo. Sobrecarga da ANP ao implementar marco regulatório do hidrogênio de baixo carbono. JOTA, 2024. Disponível em: https://www.jota.info/artigos/sobrecarga-da-anp-ao-implementar-marco-regulatorio-do-hidrogenio-de-baixo-carbono. Acesso em: 15 nov. 2024.

contratos de compra mínima garantida de longo prazo, para a viabilização econômico-financeira do projeto. A insegurança jurídica causada por uma autorização temporária suspensa ou revogada pela ausência de capacidade regulatória para seguir com os propósitos do Sandbox Regulatório pode causar graves consequências para setores de indústrias de rede.[172]

Em um contexto de baixa capacidade regulatória citada, existe ainda o risco de captura do processo regulatório de Sandbox Regulatório pelo ente participante. A premissa básica de um Sandbox Regulatório é que a regulação é uma faca de dois gumes. Enquanto a regulação tem um papel relevante para garantir segurança jurídica para os fornecedores e estabilidade para consumidores de atividades econômicas ou produtos seguindo um interesse público relacionado, a regulação também pode causar barreiras de entrada e assimetrias para novos entrantes em mercados regulados, servindo como obstáculo para inovação em certos contextos.[173] Nesse sentido, o Sandbox Regulatório por suas característica de flexibilização busca também garantir a entrada desses agentes inovadores, que não conseguem superar os obstáculos.

Mesmo assim, existem agentes que podem não necessitar do suporte do Sandbox Regulatório para desenvolver a sua inovação, utilizando da assimetria de informações e de poder econômico-financeiro no contexto do Sandbox Regulatório para garantir um ambiente desregulado, originando um *by-pass* regulatório por uma adesão oportunística, que não seguiria qualquer interesse público relacionado.[174]

---

[172] Indústrias de rede são aquelas cujo funcionamento e valor estão intrinsecamente ligados à conexão de diversos fornecedores, usuários, pontos de acesso ou regiões. Um exemplo claro é o setor de energia elétrica, no qual as redes de transmissão e distribuição conectam geradores de energia a consumidores finais. À medida que mais usuários são conectados, a infraestrutura se torna mais eficiente e economicamente viável, além de permitir maior estabilidade no fornecimento. De forma semelhante, a indústria de óleo e gás, que opera em redes de gasodutos e oleodutos que interligam áreas produtoras a mercados consumidores, seria uma indústria de rede. Além do valor aumentar com o crescimento do número de participantes, por permitir a diluição dos custos fixos e melhoria da eficiência da logística, a interdependência dentre os agentes participantes marca esse tipo de indústria, na qual a falha de um fornecedor pode ocasionar impactos para o restante da cadeia econômica. Para aprofundamento: SHAPIRO, Carl; VARIAN, Hal R. Information Rules: A Strategic Guide to the Network Economy. Boston: Harvard Business Review Press, 1999. Disponível em: https://www.hbr.org/books. Acesso em: 17 nov. 2024. ECONOMIDES, Nicholas. Network Economics with Application to Finance and Markets. Financial Markets, Institutions & Instruments, v. 2, n. 5, p. 89-97, 1996. Disponível em: https://dx.doi.org/10.1002/fmii.1996. Acesso em: 17 nov. 2024.

[173] BAPTISTA, Patrícia; KELLER, C. Por que, quando e como regular as novas tecnologias? os desafios trazidos pelas inovações disruptivas. Revista de Direito Administrativo, v. 273, 2017. Disponível em: https://periodicos.fgv.br/rda/article/view/66659. Acesso em: 17 nov. 2024

[174] BRASIL. Tribunal de Contas da União; FASSIO, Rafael. Sandbox Regulatório no Marco Legal das Startups. Brasília: TCU, Laboratório de Inovação, 2023, p. 40.

Esse contexto pode representar uma captura da agência reguladora, que seria o desvio de finalidade do processo regulatório, que busca o atendimento primário dos interesses do agente regulado, para além dos interesses públicos envolvidos.[175]

A partir desse risco, os agentes interessados em desenvolver atividades econômicas ou produtos inovadores podem buscar aproveitar as diferenças ou lacunas dentre as regras aplicadas dentro e fora de um Sandbox Regulatório para maximizar seus benefícios, enquanto minimizam os custos de conformidade, selecionando o ente regulador de menor capacidade regulatória para tanto, manipulando o processo regulatório em seu favor. [176]

Em um contexto internacional, se não forem previstas prevenções na modelagem, empresas podem optar por testar seus produtos em Sandboxes de jurisdições com regulamentações mais permissivas, aproveitando-se de variações nos regimes regulatórios de diferentes países.[177]

Isso pode criar, a longo prazo, um efeito onde países competem para atrair inovações, oferecendo regimes mais flexíveis, às vezes à custa de padrões de segurança e proteção do consumidor.[178]Essa dinâmica internacional pode enfraquecer os sistemas regulatórios mais rigorosos, uma vez que as empresas podem simplesmente mover suas operações para países com supervisão mais permissiva.[179]

Para mitigar esse efeito, Allen sugere a criação de "Global Sandboxes" ou coalizões regulatórias, onde países cooperam para estabelecer normas consistentes para inovações.[180] Além disso, Zetzsche et al. defendem que os reguladores devem exigir que as empresas participantes de Sandboxes Regulatórios desenvolvam planos robustos de mitigação de riscos

---

[175] LIMA, Cesar Henrique Ferreira. Direito administrativo da experimentação: fundamentos, possibilidades, limites e experiências práticas na realidade brasileira. 2024. 277 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024, p. 125; e GUERRA, Sérgio. Teoria da captura de agência reguladora em sede pretoriana. Revista de Direito Administrativo – RDA, n. 244, Rio de Janeiro, 2007, p. 331

[176] ZETZSCHE, D. A.; BUCKLEY, R. P.; ARNER, D. W.; BARBERIS, J. N. Regulating a Revolution: From Regulatory Sandboxes to Smart Regulation. Fordham International Law Journal, v. 41, n. 4, p. 1546–1625, 2017.

[177] ALLEN, H. J. Regulatory Sandboxes in Developing Countries: Can they Improve Consumer Protection?. Journal of Financial Regulation and Compliance, v. 27, n. 3, p. 296-312, 2019.

[178] Ibidem.

[179] Ibidem.

[180] Ibidem.

e adaptem seus produtos a ambientes regulatórios mais completos, antes de permitir sua comercialização em grande escala.[181]

Zetzsche et al. destacam que o público ou consumidores finais da inovação podem perceber os Sandboxes como áreas de "imunidade regulatória", onde as empresas não precisam cumprir integralmente atos normativos que foram criados para proteger consumidores e manter a integridade do mercado regulado. Se as empresas que participam de Sandboxes falharem ou causarem prejuízos aos consumidores, a percepção pública da eficácia da regulação como um todo pode ser gravemente afetada.[182]

Essa inconsistência também pode levar a questionamentos sobre a imparcialidade das autoridades regulatórias, com a percepção de que algumas empresas são favorecidas em detrimento de outras. Isso pode reduzir a confiança do mercado, especialmente se os consumidores perceberem que estão sendo expostos a riscos adicionais sem uma supervisão regulatória eficiente.[183]

Uma solução proposta para esse risco seria a harmonização regulatória, em que os reguladores estabelecem padrões mais consistentes tanto dentro quanto fora do Sandbox. Allen sugere que, para mitigar os efeitos negativos da aplicação desigual, os reguladores devem criar "*transition plans*" que garantam que as empresas que saem do Sandbox Regulatório sejam submetidas progressivamente às regulamentações plenas. Isso ajudaria a manter um nível de igualdade entre as empresas que operam dentro e fora do Sandbox Regulatório, reduzindo a distorção competitiva.[184]

Em segundo lugar, sob o prisma de mercado. Em resumo, os principais benefícios identificados por esse trabalho são voltados para a flexibilidade e diálogo aberto com o ente regulador, que possibilitam o desenvolvimento eficaz, e até mesmo mais célere, da inovação. Esse incentivo para inovação pode causar uma maior competitividade e diminuição das barreiras de entrada para novos agentes, pela diminuição dos riscos e inseguranças jurídicas relacionadas com a inovação.

---

[181] ZETZSCHE, D. A.; BUCKLEY, R. P.; ARNER, D. W.; BARBERIS, J. N. Regulating a Revolution: From Regulatory Sandboxes to Smart Regulation. Fordham International Law Journal, v. 41, n. 4, p. 1546–1625, 2017

[182] ZETZSCHE, D. A.; BUCKLEY, R. P.; ARNER, D. W.; BARBERIS, J. N. Regulating a Revolution: From Regulatory Sandboxes to Smart Regulation. Fordham International Law Journal, v. 41, n. 4, p. 1546–1625, 2017.

[183] Ibidem.

[184] ALLEN, H. J. Regulatory Sandboxes in Developing Countries: Can they Improve Consumer Protection?. Journal of Financial Regulation and Compliance, v. 27, n. 3, p. 296-312, 2019.

Conforme citado anteriormente, uma das principais características da metodologia de Sandbox Regulatório é a flexibilidade, em razão da suspensão de requisitos e regras regulatórias de forma casuística, em razão da necessidade do agente participante. Essa flexibilidade tende a incentivar as inovações por diminuir os riscos regulatórios e a curva de aprendizado de uma agente possivelmente não habituado com o regramento complexo do mercado relacionado, reduzindo inclusive os custos de transação relacionados.[185]

Ainda no prisma de mercado, residem diversos riscos relacionados com a utilização do Sandbox Regulatório, que devem ser considerados pela administração ao optar por essa metodologia de processo regulatório. Os riscos são principalmente conectados com a desestabilização do espaço regulatório, criando efeitos negativos de ordem concorrencial.[186]

Em um primeiro ponto, pode se apresentar um risco sistêmico para o espaço regulatório já estabelecido. O risco sistêmico refere-se à possibilidade de que falhas em empresas ou inovações testadas em Sandboxes Regulatórios possam se propagar por todo o sistema regulado, afetando a estabilidade de mercados mais amplos.[187] Este é um risco particularmente importante e descrito na literatura no contexto de tecnologias emergentes, como criptomoedas, sistemas de pagamento digital e plataformas de empréstimos, onde falhas tecnológicas ou fraudes podem ter consequências em escala global.[188] Mesmo assim, é possível de visualizar esse risco aplicado para o contexto energético, considerando a instabilidade das cadeias econômicas relacionadas, no contexto de indústria de rede.

Arner et al. discutem que, ao permitir que empresas inovadoras testem novos produtos ou serviços em Sandboxes, os reguladores podem inadvertidamente introduzir fragilidades em mercados mais amplos. Por exemplo, se um novo sistema de pagamento digital for testado em um Sandbox sem a devida avaliação de impacto, ele pode ser adotado em massa, gerando

[185] BLANCHET, Luiz Alberto; GAZOTTO, Gustavo Martinelli Tanganelli; FERNEDA, Ariê Scherreier. *Sandbox* regulatória e tecnologias disruptivas: incentivos à inovação e inclusão financeira por meio das Fintechs. *Revista Eurolatina de Direito Administrativo*, Santa Fe, v. 7, n. 2, pp. 71-87, jul./dez., 2020, p. 84
[186] Ibidem.
[187] ARNER, D. W.; ZETZSCHE, D. A.; BUCKLEY, R. P.; BARBERIS, J. N. FinTech, RegTech and the Reconceptualization of Financial Regulation. Northwestern Journal of International Law and Business, v. 37, n. 3, p. 371-414, 2017
[188] Ibidem.

vulnerabilidades que, uma vez expostas, podem comprometer a integridade de todo o sistema financeiro.[189]

Zetzsche et al. citam em linhas gerais que a flexibilidade oferecida em um Sandbox Regulatório pode permitir que empresas adotem modelos de negócios arriscados ou inovações tecnológicas não totalmente testadas. Se várias dessas empresas enfrentarem problemas ao mesmo tempo, o impacto acumulado pode ser grande o suficiente para comprometer a estabilidade do sistema regulado.[190] Durante a crise financeira de 2008, um dos principais problemas foi a falha simultânea de múltiplas instituições financeiras que haviam adotado práticas de alto risco no mercado de hipotecas.[191]

Para mitigar o risco sistêmico, os reguladores precisariam estabelecer mecanismos robustos de monitoramento e supervisão contínua para as empresas que saem de Sandboxes Regulatórios. Buckley et al. sugerem que os reguladores devem adotar uma abordagem de "avaliação gradual de impacto", na qual as inovações são monitoradas cuidadosamente mesmo após o término do período de teste no sandbox. Isso permitiria que os reguladores identificassem problemas potenciais antes que eles se propagassem.[192]

Além disso, Allen propõe a criação de "testes de estresse sistêmicos", para inovações testadas em sandboxes, de forma semelhante aos testes realizados em grandes bancos após a crise financeira de 2008. Esses *stress tests* poderiam avaliar a resiliência das inovações em cenários adversos e garantir que as tecnologias emergentes não introduzam riscos sistêmicos desnecessários no mercado.[193]

Outro risco sistêmico, de ordem concorrencial, é a aplicação inconsistente de regulação, com a potencial criação de lacunas entre as empresas que operam dentro e fora desse ambiente. Essa desigualdade pode ter efeitos adversos tanto sobre a competitividade no mercado, quanto sobre a confiança do público nos sistemas regulatórios.[194]

---

[189] ARNER, D. W.; ZETZSCHE, D. A.; BUCKLEY, R. P.; BARBERIS, J. N. FinTech, RegTech and the Reconceptualization of Financial Regulation. Northwestern Journal of International Law and Business, v. 37, n. 3, p. 371-414, 2017.
[190] ZETZSCHE, D. A.; BUCKLEY, R. P.; ARNER, D. W.; BARBERIS, J. N. Regulating a Revolution: From Regulatory Sandboxes to Smart Regulation. Fordham International Law Journal, v. 41, n. 4, p. 1546–1625, 2017.
[191] Ibidem.
[192] BUCKLEY, R. P.; ARNER, D. W.; ZETZSCHE, D. A.; BARBERIS, J. N. The Future of Fintech: A Paradigm Shift in Small Business Finance. Journal of Financial Regulation, v. 5, n. 1, p. 49-65, 2019.
[193] ALLEN, H. J. Regulatory Sandboxes in Developing Countries: Can they Improve Consumer Protection?. Journal of Financial Regulation and Compliance, v. 27, n. 3, p. 296-312, 2019.
[194] BUCKLEY, R. P.; ARNER, D. W.; ZETZSCHE, D. A.; BARBERIS, J. N. The Future of Fintech: A Paradigm Shift in Small Business Finance. Journal of Financial Regulation, v. 5, n. 1, p. 49-65, 2019.

O problema da aplicação regulatória inconsistente surge quando as empresas dentro de um Sandbox Regulatório recebem tratamento diferenciado em relação às empresas que não estão nesse ambiente de teste.

Buckley et al. alertam que essa abordagem pode criar uma "desigualdade regulatória", em que empresas fora do sandbox são obrigadas a seguir regulamentações mais rígidas, enfrentando maiores custos de conformidade e limitando sua competitividade. Como consequência, as empresas dentro do sandbox podem obter vantagens desleais ao testar seus produtos em um ambiente regulatório mais permissivo. Por exemplo, as fintechs que operam em Sandboxes podem desenvolver e lançar produtos rapidamente, enquanto as instituições financeiras tradicionais, que estão sujeitas a uma regulamentação mais rigorosa, enfrentam obstáculos maiores.[195]

Outro risco sob o prisma de mercado, que é citado pela literatura de forma mais mitigada, é que os Sandboxes Regulatórios podem incentivar inovações que não correspondem a uma necessidade real de mercado. Ao criar um ambiente altamente favorável à experimentação, os Sandboxes Regulatórios podem gerar produtos ou serviços inovadores que carecem de viabilidade econômica ou utilidade prática, o que pode levar a falhas empresariais, ou até a desperdício de recursos financeiros e regulatórios.[196]

O incentivo à inovação dentro de Sandboxes Regulatórios pode criar uma cultura em que as empresas se concentram mais em lançar novos produtos rapidamente, do que em desenvolver soluções que realmente atendam às necessidades do consumidor. Zetzsche et al. discutem que isso pode levar a um tipo de “excesso de experimentação”, onde produtos são lançados sem uma análise adequada da demanda de mercado ou da viabilidade econômica. Esse tipo de inovação sem rumo pode levar ao fracasso de startups, causando prejuízos financeiros tanto para as empresas quanto para os investidores.[197]

O apoio regulatório concedido às empresas em Sandboxes, muitas vezes sob a forma de isenções ou suporte técnico, pode ser mal utilizado, se as inovações que estão sendo testadas não gerarem valor real.

---

[195] BUCKLEY, R. P.; ARNER, D. W.; ZETZSCHE, D. A.; BARBERIS, J. N. The Future of Fintech: A Paradigm Shift in Small Business Finance. Journal of Financial Regulation, v. 5, n. 1, p. 49-65, 2019.
[196] KNIGHT, Brian R.; MITCHELL, Trace. The Sandbox Paradox: Balancing the Need to Facilitate Innovation with the Risk of Regulatory Privilege. Regulation of Financial Institutions eJournal, 2020. Disponível em: https://scholarcommons.sc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4364&context=sclr. Acesso em: 15 dez. 2024.
[197] ZETZSCHE, D. A.; BUCKLEY, R. P.; ARNER, D. W.; BARBERIS, J. N. Regulating a Revolution: From Regulatory Sandboxes to Smart Regulation. Fordham International Law Journal, v. 41, n. 4, p. 1546–1625, 2017.

Além disso, se reguladores se concentrarem excessivamente em apoiar inovações tecnológicas experimentais que não atendem a uma necessidade real, isso pode desviar recursos de outras áreas regulatórias, que poderiam ter um impacto mais imediato na segurança e na integridade do sistema regulado.[198]

3.3. PONTOS CRÍTICOS PARA A APLICABILIDADE NO SETOR DE ENERGÉTICO

O subtópico anterior apresentou os benefícios e riscos de aplicação do Sandbox Regulatório apresentados pela literatura, de forma geral. Mesmo assim, é possível ressaltar os pontos críticos a serem considerados na implementação dessa metodologia, no contexto do setor energético brasileiro, que inclui as cadeias econômicas de petróleo e gás natural, energia elétrica e combustíveis. Em razão dos poucos anos de desenvolvimento da metodologia, a literatura de Sandbox Regulatório aplicada para o setor energético ainda é bastante escassa.

Em um primeiro ponto, as infraestruturas relacionadas com o setor energético são marcadas por altos custos de implementação (*capex*) e operação (*opex*). Projetos de grande porte, como usinas de geração de energia, sistemas de transmissão e distribuição, ou plantas industriais para produção de combustíveis renováveis, demandam investimentos substanciais tanto na fase inicial de construção quanto ao longo de sua operação para garantir manutenção e eficiência contínuas.

Esses altos custos iniciais podem representar barreiras significativas para novos entrantes no mercado, restringindo a competitividade a empresas com maior capacidade de investimento ou acesso a financiamentos robustos. Nesse contexto, a atração de capital privado, frequentemente mediada por instrumentos regulatórios que minimizem os riscos de investimento, é uma estratégia adotada para viabilizar projetos no setor energético.[199]

Fatores externos, como mudanças regulatórias, oscilações no mercado de commodities e instabilidades políticas, também influenciam os custos de *capex* e *opex* das infraestruturas energéticas. Esses elementos aumentam a incerteza e o risco percebido por investidores e

[198] BUCKLEY, R. P.; ARNER, D. W.; ZETZSCHE, D. A.; BARBERIS, J. N. The Future of Fintech: A Paradigm Shift in Small Business Finance. Journal of Financial Regulation, v. 5, n. 1, p. 49-65, 2019.

[199] Diversas são as estratégias para minimização dos riscos de investimento, como a garantia de retorno por um cálculo tarifário específico ou outras metodologias de financiamento público. HAAS, R.; AJANOVIC, A.; Perger, T. Financing the future infrastructure of sustainable energy systems. Green Finance, 2021. Disponível em: http://www.aimspress.com/aimspress-data/gf/2021/1/PDF/GF-03-01-006.pdf. Acesso em: 18 nov. 2024.

operadores no setor, reforçando a necessidade de mecanismos de mitigação e garantia de receita mínima, como contratos de longo prazo, subsídios governamentais ou parcerias público-privadas (PPP).[200] Especialmente em países em desenvolvimento, essa incerteza regulatória e a insegurança jurídica para investimentos de grande porte é um impeditivo e obstáculo para investimentos estrangeiros.[201]

Esses mecanismos, se na forma de contratos, são frequentemente chamados de *offtake agreements*, que estabelecem um compromisso entre o gerador de energia ou produtor do vetor energético e o comprador (empresas ou mesmo a administração pública), para a aquisição de uma quantidade pré-determinada do produto, por um período específico e a um preço previamente acordado. Esses contratos garantem estabilidade financeira e previsibilidade de receita ao longo da vida útil do empreendimento.[202]

Conforme citado anteriormente, um risco da utilização do Sandbox Regulatório é a incerteza regulatória causada pela condução desordenada, pela falta de recursos do ente regulador. Outro risco levantado foi a implementação dessa metodologia em um cenário carente de inovação ou de motivação, somente para satisfazer interesses empresariais do desenvolvimento de projetos desregulados. A alta complexidade de projetos no setor energético, aumenta esses riscos. Embora a curva de aprendizagem seja mútua para o ente regulador e para o ente regulado, ainda resta uma assimetria de informações relevantes nesse tipo de contexto.

Esse risco é ainda maior considerando que, pelos altos custos envolvidos, os agentes presentes no setor energético são altamente especializados. Diferente de setores em que inovações podem ser desenvolvidas por *startups,* definidas na Lei Complementar nº 182/2021 como empresas nascentes ou em operação recente, de menor disposição financeira, o setor energético é em sua maioria marcado por agentes com capital elevado, inclusive contando com investimentos estrangeiros.[203] Na utilização da metodologia de Sandbox Regulatório, que garante uma proximidade e suspensão de regras regulatórias, esses agentes teriam incentivos

---

[200] JAMASB, T. Incentive Regulation of Electricity and Gas Networks in the UK. Research CBS, 2011. Disponível em: https://research.cbs.dk/files/74880195/jamasb_incentive_regulation_acceptedversion.pdf. Acesso em: 18 nov. 2024.

[201] ROCHA, K. Investimentos privados em infraestrutura nas economias emergentes: a importância do ambiente regulatório na atração de investimentos. Econstor, p. 13, 2020.

[202] ENEI, José Virgílio Lopes. Project Finance: financiamento com foco em empreendimentos. Parcerias públicas. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

[203] EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Decenal de Expansão de Energia 2031. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2031. Acesso em: 15 dez. 2024.

para captura do ente regulador, buscando a diminuição de seus custos do projeto, mesmo que em prejuízo do consumidor final, buscando a maximização de lucros.

Além disso, é necessário considerar que diferente de inovações tecnológicas motivadas pela disrupção de mercado, inovações no setor energético não são experimentos em vácuos regulatórios, que precisariam ser enquadrados em algum espaço regulatório, mas sim precisam ser formulados e implementados considerando um setor policêntrico, de uma multiplicidade de atores de interesse.[204]

Conforme citado anteriormente, o setor energético é marcado por indústrias de rede, que interligam todas as etapas das cadeias econômicas para cada setor. O gás natural, por exemplo, envolve uma cadeia complexa, que passa pela produção, escoamento, processamento, transporte e distribuição da molécula para o consumidor final. Cada uma dessas etapas da cadeia econômica tem um sistema regulatório próprio, de alta complexidade, com dezenas de normas regulatórias aplicáveis. A cadeia econômica do gás natural é diretamente conectada com o fornecimento de energia elétrica para o sistema elétrico nacional.

Outra questão de alta relevância é que o uso do Sandbox em mercados de infraestrutura crítica, como o de energia, exige uma abordagem diferenciada em comparação com setores como o financeiro ou tecnológico. Enquanto nestes últimos os experimentos podem ser revertidos ou ajustados com menos impacto sistêmico, no setor energético, onde falhas tecnológicas ou regulatórias podem ter consequências severas – tanto em termos de segurança energética quanto de impactos ambientais – os riscos associados ao uso indiscriminado do Sandbox são amplificados para os consumidores finais.

Os riscos associados à segurança do consumidor e à integridade da infraestrutura crítica são exacerbados pela complexidade intrínseca do setor. A integração de novas tecnologias, como redes inteligentes e sistemas de energia renovável, por meio de um Sandbox, pode expor os consumidores a riscos de privacidade, como destacado por Rajca, e aumentar a vulnerabilidade a ataques cibernéticos.[205]

---

[204] VAN DER WAAL, Esther C.; DAS, Alexandra M.; VAN DER SCHOOR, Tineke. Participatory Experimentation with Energy Law: Digging in a 'Regulatory Sandbox' for Local Energy Initiatives in the Netherlands. *Energies*, v. 13, n. 458, p. 1-21, 2020. DOI: 10.3390/en13020458. Disponível em: http://www.mdpi.com/journal/energies. Acesso em: 18 nov. 2024.

[205] MATVIIENKO, H. et al. Governmental management and regulatory measures for advancing AI in the Ukrainian energy sector as a basis for rapid and sustainable development of the Ukrainian economy. *Proceedings of the International Conference on Advanced Computer Information Technologies*, p. 245–252, 2023. DOI: 10.1109/ACIT58437.2023.10275486.

Além disso, a instabilidade regulatória decorrente da aplicação de modelos experimentais pode impactar negativamente a confiança dos consumidores e investidores no setor. No caso brasileiro, por exemplo, incertezas institucionais e regulatórias têm contribuído para um aumento nos riscos sistêmicos, conforme discutido por Sousa.[206] Isso reflete a necessidade de uma estrutura regulatória estável que possa acomodar a inovação sem comprometer a segurança do consumidor e o funcionamento eficiente do sistema.

Esse contexto de incertezas regulatórias pode impactar diretamente o consumidor final, que não teria incentivos para comprometer as suas atividades econômicas na assinatura de contratos de longo prazo com investimentos sem segurança jurídica.[207]

3.4. ANÁLISE HISTÓRICO-NORMATIVA DOS SANDBOXES REGULATÓRIOS NO BRASIL

Após a análise sobre o desenvolvimento do instrumento do Sandbox Regulatório, destacando suas características estruturais, os princípios que guiam sua implementação e os benefícios e riscos inerentes ao seu uso – como a experimentação regulatória com potencial para gerar incertezas jurídicas e riscos à proteção de consumidores e ao mercado – é necessário observar como esse modelo foi adotado e adaptado ao contexto regulatório brasileiro.

Seguindo o desenvolvimento internacional, no Brasil, o Sandbox Regulatório também foi adotado como um instrumento experimental da administração pública, que buscava permitir que empresas com potencial de inovação desenvolvessem e testassem produtos e serviços sob uma supervisão regulatória mais flexível e adaptável.

Inspirado diretamente pelos modelos aplicados no Reino Unido e em outras jurisdições, como Singapura e Hong Kong, o Brasil introduziu o conceito primeiramente em setores como o financeiro e o de tecnologia, por meio da Comissão de Valores Mobiliários (CVM) e do Banco Central (BACEN).[208] O objetivo inicial era promover a inovação no ecossistema de *fintechs*,

---

[206] SOUSA, V. P. O risco sistêmico e a taxa de retorno regulatória no segmento de distribuição de energia elétrica. *Revista Brasileira de Energia Elétrica*, 2015.

[207] AYDIN, Z.; YARDIMCI, O. Regulatory sandboxes and pilot projects: Trials, regulations, and insights in energy transition. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, v. 56, p. 101792, 2024. ISSN 2215-0986. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098624001782. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jestch.2024.101792. Acesso em: 18 nov. 2024.

[208] BORGES, R.; FREITAS, P. Sandbox regulatório no Brasil: Inovação financeira e desafios regulatórios. Revista de Direito e Economia, v. 12, n. 1, p. 54-75, 2021.

permitindo que novos produtos financeiros fossem testados sem a necessidade de cumprir com todas as regulamentações vigentes, ao mesmo tempo que eram monitorados de perto pelas autoridades reguladoras.[209]

Mesmo assim, como a introdução desse instrumento foi realizado no ordenamento brasileiro por normas regulatórias, não existiram diretrizes gerais aceitas, ou mesmo uma metodologia padronizada para a aplicação ou análise dos resultados de seu uso.

O uso do Sandbox no Brasil, portanto, segue a lógica de fomentar o desenvolvimento tecnológico e facilitar a introdução de novas soluções no mercado, reduzindo as barreiras iniciais impostas pelas regulamentações rígidas, mas sem considerar qualquer estrutura padronizada. Sob a classificação de Sandbox Regulatório apresentada pelo Banco Mundial, seriam os *Innovation Focused Sandboxes*.

Seguindo a tendência do contexto de regulação financeira internacional, o Brasil teve a sua primeira experiência nacional com Sandbox Regulatório em 2019, quando a Comissão de Valores Mobiliários ("CVM"), a Superintêndencia de Seguros Privados ("SUSEP") e o Banco Central do Brasil ("BCB") publicaram um comunicado conjunto sobre a intenção da implementação de um modelo de Sandbox Regulatório em seus mercados de atuação.[210]

As entidades justificaram a intenção como resposta às transformações que estariam acontecendo nos segmentos financeiro, de capitais e securitário. O uso de tecnologias citadas pelas entidades como inovadoras, como *distributed ledger technology* – DLT, *blockchain*, *roboadvisors* e inteligência artificial, estaria criando um contexto para o surgimento de novos modelos de negócio, com reflexos na oferta de produtos e serviços de maior qualidade e alcance. Esse cenário estaria impondo aos reguladores um desafio de atuar com flexibilidade, dentro dos limites permitidos pela legislação. [211]

É citado ainda, nessa manifestação conjunta, que os reguladores subscritos coordenariam as suas atividades institucionais para disciplinar o funcionamento de elementos essenciais do Sandbox Regulatório, buscando atuar sempre conjuntamente quando as atividades

---

[209] SILVA, F. G.; OLIVEIRA, R. M. O papel do sandbox regulatório no estímulo à inovação no Brasil. Revista Brasileira de Inovação e Tecnologia, v. 8, n. 2, p. 112-130, 2021.
[210] BRASIL. Autoridade Nacional de Proteção de Dados. Sandbox Regulatório – Estudo Técnico ANP, 29 de setembro de 2023. Disponível em: https://www.gov.br/anpd/pt-br/documentos-e-publicacoes/documentos-de-publicacoes/sandbox_regulatorio___estudo_tecnico__versao_publica_.pdf. Acesso em: 23 out. 2024. BRASIL. Ministério da Economia. Comunicado Conjunto, de 13 de junho de 2019. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/detalhenoticia/16776/nota. Acesso em: 23 out. 2024.
[211] Ibidem.

perpassassem mais de um mercado regulado.[212] Essa coordenação de fato nunca teria ocorrido. Cada regulador adotou um modelo próprio de Sandbox Regulatório, marcando uma primeira diferença fundamental quanto ao procedimento criado no Reino Unido em 2016. [213]

Ainda em 2020, a SUSEP foi a primeira entidade a elaborar um modelo de Sandbox Regulatório, estabelecido por meio da Resolução CNSP n° 381/2020 e da Circular SUSEP n° 598/2020. Por meio desses atos normativos, a SUSEP estabeleceu as condições de autorização e o funcionamento, por tempo determinado, de sociedades seguradoras participantes exclusivamente de ambiente regulatório experimental (nomenclatura adotada para Sandbox Regulatório em alguns contextos normativos brasileiros), que desenvolvessem projeto inovador , mediante o cumprimento de critérios e limites estabelecidos.

Entre os principais aspectos da Resolução CNSP n° 381/2020 estão a definição do conceito de projeto inovador, os procedimentos de seleção e participação no Sandbox, os critérios de elegibilidade dos interessados, as medidas voltadas à proteção do consumidor e as hipóteses de cancelamento ou suspensão de projetos em caso de descumprimento das normas.

O art. 2º, XI, da Resolução CNSP n° 381/2020 e art. 2º, V, da Circular SUSEP nº 598/2020 apresenta a definição de "projeto inovador", como projeto de "desenvolvimento de produto e/ou serviço no mercado de seguros que seja oferecido ou desenvolvido a partir de novas metodologias, processos, procedimentos, ou de tecnologias existentes aplicadas de modo diverso".

Os procedimentos de seleção e participação no Sandbox Regulatório da SUSEP foram delineados no art. 4º da Resolução CNSP n° 381/2020. De acordo com esse dispositivo, o ingresso no ambiente regulatório experimental é precedido pela publicação de um edital pela SUSEP, por meio do qual são divulgadas as regras de seleção dos interessados.

A participação é limitada ao período máximo de 36 meses, durante o qual as sociedades seguradoras participantes devem operar em conformidade com os critérios e limites impostos pela autarquia. O processo de seleção demanda que os interessados apresentem pedido de autorização temporária, que deve ser instruído com o nome do responsável pela condução do

---

[212] Ibidem.

[213] FINKELSTEIN, Cláudio; ARAÚJO, Juliana Mascarenhas. Para além das caixas – *fintechs* e o *sandbox* regulatório brasileiro. *Revista de Direito Bancário e do Mercado de Capitais*, v. 93, pp. 285-305, jul./set., 2021, p. 291.

projeto inovador perante a SUSEP, conforme disposto no art. 3º, caput, da Circular SUSP nº 598/2020.

Os critérios de elegibilidade são especificados no art. 5º da Resolução CNSP n° 381/2020, enquanto o art. 7º do mesmo normativo estabelece os procedimentos que orientam o processo seletivo. A SUSEP, em um primeiro momento, selecionaria até 10 projetos inovadores, com a possibilidade de ampliar esse número para até mais 10, conforme o seu próprio critério e disponibilidade.

A proteção ao consumidor é outro pilar fundamental do modelo regulatório. Conforme o art. 14 da Resolução CNSP n° 381/2020, todas as seguradoras participantes do Sandbox são obrigadas a implementar um Serviço de Atendimento ao Consumidor, além de enviar periodicamente à SUSEP relatórios sobre o registro de reclamações.

Por fim, a SUSEP também mantém o poder de fiscalização e controle sobre as sociedades seguradoras participantes do Sandbox Regulatório. O art. 36 da Resolução CNSP n° 381/2020 dispõe que a autarquia pode cancelar a autorização temporária ou suspender a comercialização de produtos e serviços caso sejam identificados descumprimentos aos requisitos regulatórios. Além disso, a Circular SUSEP nº 598/2020 detalha as hipóteses específicas de cancelamento, como a verificação de um índice de reclamações superior a 5%, de forma cumulativa.

Desde a implementação do modelo de Sandbox Regulatório, a SUSEP já promoveu dois editais voltados à seleção de projetos inovadores para participação no ambiente experimental. O primeiro edital, publicado em junho de 2020 (Edital Eletrônico nº 2/2020/SUSEP), estabeleceu como requisito a obtenção de uma pontuação mínima de 70 pontos, conforme os critérios e pesos definidos no documento. Em um segundo edital, divulgado em julho de 2021 (Edital Eletrônico nº 1/2021/SUSEP), a exigência foi ampliada, com o patamar mínimo de pontuação elevado para 85 pontos.[214]

Posteriormente à criação do Sandbox Regulatório pela SUSEP, a Comissão de Valores Mobiliários (CVM) também implementou atos normativos para regular o seu modelo de Sandbox Regulatório, voltado ao mercado de valores mobiliários. Inicialmente regulamentado

[214] LIMA, Cesar Henrique Ferreira. Direito administrativo da experimentação: fundamentos, possibilidades, limites e experiências práticas na realidade brasileira. 2024. 277 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024, p. 110

pela Instrução CVM nº 626/2020, o Sandbox da CVM foi revisado e passou a ser regido pela Resolução CVM nº 29/2021. [215]

No entanto, há diferenças entre os dois modelos de Sandbox Regulatório. Enquanto a SUSEP utiliza o termo "projeto inovador", enfatizando o desenvolvimento de produtos ou serviços no mercado de seguros que empreguem metodologias, processos ou tecnologias aplicadas de maneira diferenciada, a CVM adota o conceito de "modelo de negócio inovador". Esse conceito, conforme o art. 2º da Resolução CVM nº 29/2021, engloba iniciativas que utilizem tecnologia inovadora ou apresentem arranjos inéditos de produtos e serviços no mercado de valores mobiliários, além de exigir potencial para gerar eficiência, reduzir custos ou ampliar o acesso do público ao mercado. Assim, enquanto a SUSEP foca na novidade técnica ou metodológica, a CVM inclui uma análise mais robusta sobre os benefícios econômicos e sociais da inovação.[216]

Os procedimentos de seleção e participação também apresentam diferenças. No Sandbox Regulatório da SUSEP, o ingresso ocorre mediante a publicação de editais, nos quais são definidos os critérios de elegibilidade e as etapas do processo seletivo. A seleção é competitiva, e a SUSEP inicialmente selecionaria até 10 projetos, com possibilidade de ampliação para outros 10, caso necessário. Já na CVM, o processo se inicia por meio de comunicados ao mercado que divulgam os critérios e prazos, abrindo flexibilidade para esse ponto.

A análise das propostas é feita pelo Colegiado da CVM, que delibera sobre a concessão das autorizações temporárias, válidas por um ano, prorrogáveis por mais um ano. Comparativamente, a SUSEP oferece um período maior de autorização, de até 36 meses, o que pode ser mais vantajoso para projetos que demandam ciclos de desenvolvimento mais longos.

Os poderes de fiscalização e supervisão são amplos em ambos os modelos. Conforme citado anteriormente, a SUSEP reservou o direito de cancelar a autorização temporária ou suspender a comercialização de produtos e serviços, caso fossem identificadas irregularidades, como índices elevados de reclamações. Na CVM, a Resolução nº 29/2021 também prevê o cancelamento das autorizações temporárias em casos de descumprimento das condições

[215] Comissão de Valores Mobiliários. Resolução CVM nº 29, de 7 de maio de 2021. Dispõe sobre o ambiente regulatório experimental (sandbox regulatório) no mercado de capitais. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 22, 10 maio 2021. Disponível em: https://www.gov.br/cvm. Acesso em: 15 dez. 2024.

[216] LIMA, Cesar Henrique Ferreira. Direito administrativo da experimentação: fundamentos, possibilidades, limites e experiências práticas na realidade brasileira. 2024. 277 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024, p. 111

regulatórias, encerrando a participação no Sandbox Regulatório de forma semelhante à da SUSEP.

A CVM realizou um processo de seleção de participantes para o Sandbox Regulatório, no ano de 2021. Foram selecionadas quatro empresas que receberam autorizações temporárias para explorar modelos de negócios inovadores. No entanto, até o momento, nenhuma das empresas solicitou a concessão de autorizações definitivas. As autorizações temporárias concedidas foram prorrogadas, com apenas um pedido de extensão sendo indeferido pela Comissão.[217]

O terceiro modelo de Sandbox Regulatório no Brasil foi instituído pelo Conselho Monetário Nacional (CMN) e pelo Banco Central do Brasil (BACEN), com o objetivo de estimular a inovação e a diversidade de modelos de negócios, promover a concorrência no fornecimento de produtos e serviços financeiros, e atender às diversas necessidades dos usuários no âmbito do Sistema Financeiro Nacional (SFN) e do Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB). Esse modelo é regulado pela Resolução CMN nº 4.865/2020 e pela Resolução BACEN nº 29/2020, que disciplinaram o funcionamento do chamado "Ambiente Controlado de Testes para Inovações Financeiras e de Pagamento".

Assim como o modelo de Sandbox Regulatório da SUSEP, o do BACEN também se fundamenta no conceito de projeto inovador. No entanto, sua definição está mais voltada ao contexto do sistema financeiro e de pagamentos, abrangendo produtos ou serviços que empreguem inovações tecnológicas ou utilizem tecnologias existentes de forma alternativa, promovendo ganhos de eficiência, alcance, redução de custos ou aumento de segurança.

A modelagem temporal do Sandbox Regulatório do BACEN segue a linha estabelecida pela SUSEP e CVM. No Sandbox Regulatório do BACEN, cada ciclo tem duração inicial de um ano, prorrogável uma única vez por igual período..

O processo de seleção para o Sandbox Regulatório do BACEN também segue uma estrutura semelhante à dos demais modelos. O ingresso no ambiente experimental começa com a edição de atos normativos de convocação, seguidos por fases de inscrição, análise e concessão de autorizações temporárias. Essas etapas são supervisionadas pelo Comitê Estratégico de Gestão do Sandbox Regulatório (CESB), instituído pela Resolução BACEN nº 70/2021. Cabe

[217] LIMA, Cesar Henrique Ferreira. Direito administrativo da experimentação: fundamentos, possibilidades, limites e experiências práticas na realidade brasileira. 2024. 277 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024, p. 105

ao CESB selecionar e classificar os projetos candidatos, além de autorizar a participação no ambiente regulatório experimental, desempenhando um papel análogo ao Comitê de Sandbox da CVM.

Até o momento do desenvolvimento do presente trabalho, o BACEN deu início apenas ao Ciclo 1 do seu modelo de Sandbox Regulatório, que contou com 52 inscrições, das quais sete empresas foram selecionadas para participação.[218]

Além disso, o BACEN divulgou recentemente o "Relatório de Gestão Sandbox Regulatório",[219] que detalha os objetivos do primeiro ciclo, o andamento dos projetos e os aprendizados obtidos. Assim como nos modelos da SUSEP e da CVM, a supervisão contínua e o acompanhamento dos projetos desempenham um papel central.

Além dos primeiros três modelos instituídos no âmbito do mercado financeiro nacional, a administração pública federal, na figura de quatro diferentes agências reguladoras, de mercados conectados a indústrias de rede, apresentou modelos, ou perspectivas de modelos, de Sandbox Regulatório para seus espaços regulatórios.

Na Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a figura dos Sandboxes tarifários foi introduzida com o objetivo de modernizar as tarifas, especialmente para consumidores atendidos em baixa tensão, e experimentar novas formas de faturamento. Em 2021, a ANEEL estruturou três linhas de ação para implementar o modelo: (i) regulamentação específica para fornecer diretrizes gerais, permitindo o desenvolvimento de projetos piloto; (ii) criação de um projeto de governança para acompanhar os Sandboxes e evitar redundâncias entre projetos; e (iii) chamadas públicas para incentivar distribuidoras de energia a participarem do ambiente experimental.

Com base nesse planejamento, a ANEEL editou a Resolução Normativa nº 966/2021, que estabelece as condições para o desenvolvimento de projetos-pilotos relacionados a faturamento diferenciado. Essa abordagem é menos restritiva, buscando evitar "amarrações conceituais", que poderiam limitar a inovação.[220]

---

[218] BANCO CENTRAL DO BRASIL. Relatório de Gestão Sandbox Regulatório: 2022. Brasília, DF: Banco Central do Brasil, 2022. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/content/estabilidadefinanceira/sandboxdocs/relatorios_cesb/Relatorio_Gestao_Sandbox_Regulatorio_2022_REV3%20(003).pdf. Acesso em: 15 dez. 2024

[219] Ibidem.

[220] Processo nº 48500.000444/2020-92, Voto do Relator Diretor Sandoval Feitosa. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021966_1.pdf>. Acesso em: 30 out. 2024, p. 6; e LIMA, Cesar Henrique Ferreira. Direito administrativo da experimentação: fundamentos, possibilidades, limites e experiências práticas

Entretanto, destaca-se que a Resolução exige que as concessionárias submetidas ao regime experimental desenvolvam sistemas de monitoramento e análise de resultados, o que denota uma preocupação com a mensuração do impacto regulatório desde a concepção dos projetos.

Até o momento, a ANEEL realizou duas chamadas públicas no âmbito dos Sandboxes tarifários. Na primeira, lançada em 2022, 14 projetos foram recebidos, abrangendo 18 áreas de concessão. Entre os temas abordados, destacaram-se novas modalidades tarifárias, como tarifação horária, binômia, trinômia e dinâmica, além de pré-pagamento e faturas digitais.[221]

Em abril de 2023, seis projetos foram selecionados, com duração média de 30 meses, afetando mais de 41 mil unidades consumidoras e com um orçamento total de R$ 76,7 milhões, sendo a maior parte financiada pelo Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL.

Diferentemente da CVM e do BACEN, que selecionam projetos por ciclos com prazos definidos, a ANEEL adotou uma abordagem de longo prazo, permitindo que alguns projetos atinjam até 44 meses de duração. Isso reflete as especificidades do setor elétrico, onde mudanças tarifárias demandam maior tempo de adaptação e implementação.

Outro exemplo de ampliação do Sandbox Regulatório no Brasil está no setor de transportes terrestres, sob a responsabilidade da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Em 2020, a ANTT incluiu o tema em sua agenda regulatória e conduziu uma Análise de Impacto Regulatório (AIR) para avaliar alternativas de implementação.[222]

O relatório da AIR recomendou que o Sandbox fosse utilizado tanto para testar produtos e serviços inovadores quanto para soluções regulatórias inéditas. Essa abordagem amplia o escopo do modelo tradicional de Sandbox, permitindo que o ambiente experimental funcione como uma ferramenta flexível para lidar com desafios específicos do setor.[223]

Com base nessas recomendações, a ANTT editou a Resolução nº 5.999/2022, que estabelece as regras para o funcionamento do Sandbox Regulatório no setor de transportes

---

na realidade brasileira. 2024. 277 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024, p 128

[221] Ibidem.

[222] AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Análise de Impacto Regulatório – AIR: Sandbox Regulatório. Brasília, DF: ANTT, 2022. Disponível em: https://portal.antt.gov.br/documents/3116054/0/AIRSandboxRegulatorio1.0.pdf/9499fbdc-e6df-ce29-1680-f4da340e7a51?t=1647633410753. Acesso em: 15 dez. 2024.

[223] Ibidem.

terrestres. O modelo da ANTT se diferencia dos outros já implementados no Brasil ao incluir a possibilidade de testar soluções regulatórias, além de inovações tecnológicas e de serviços.[224]

Outro aspecto único é a exigência de que os participantes já sejam regulados pela agência, como concessionários, permissionários ou autorizados, restringindo o ingresso de novos entrantes, o que não é uma característica comum nos modelos da SUSEP, CVM e BACEN. Nos termos da Resolução, o processo de seleção é iniciado por editais que detalham critérios de elegibilidade e etapas de seleção, similares aos processos adotados pela ANEEL e pela SUSEP.

As autorizações temporárias concedidas pela ANTT têm prazo de até 24 meses, prorrogáveis por mais 12 meses, um período intermediário quando comparado aos ciclos da CVM e do BACEN, mas inferior ao prazo máximo permitido nos projetos da ANEEL.

Até o momento, a ANTT implementou dois projetos experimentais no âmbito do Sandbox Regulatório: a instalação de pedágio eletrônico (free flow) na BR 101/RJ e a implantação de sistemas de pesagem dinâmica de veículos (HS-WIM) nas BRs 364 e 365. Ambos os projetos refletem o potencial do modelo para abordar questões práticas de eficiência e sustentabilidade no setor de transportes.[225]

O setor de telecomunicações também tem discutido a adoção de um Sandbox Regulatório, liderado pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Apesar de ainda não haver regulamentação específica, a ANATEL incluiu o tema em sua agenda regulatória para 2023-2024 e já planeja dois projetos-pilotos. Um deles está relacionado ao setor de satélites, e o outro à cobertura de sinal em áreas remotas.[226]

Válido ainda citar que, em outubro de 2024, a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) iniciou a Tomada de Subsídios 02/2024 (um tipo de consulta pública),

---

[224] AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Resolução nº 5.999, de 23 de fevereiro de 2022. Estabelece normas e diretrizes para o desenvolvimento do ambiente regulatório experimental (sandbox regulatório) no âmbito do setor de transportes terrestres. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 168, 24 fev. 2022. Disponível em: https://www.antt.gov.br. Acesso em: 15 dez. 2024.

[225] AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). Ambiente Regulatório Experimental (Sandbox Regulatório). Disponível em: https://www.gov.br/antt/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/ambiente-regulatorio-experimental-sandbox-regulatorio. Acesso em: 15 dez. 2024.

[226] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (Anatel). Agenda Regulatória 2023-2024. Disponível em: https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/agenda-regulatoria/2023-2024. Acesso em: 15 dez. 2024.

para a sua proposta normativa para Sandbox Regulatório no âmbito do seu espaço regulatório.[227]

A minuta apresenta um modelo bem estruturado, com definições claras e funções específicas para os atores envolvidos no gerenciamento e na execução do Sandbox Regulatório. O conceito é descrito como um conjunto de condições especiais e simplificadas que permite a concessão de autorizações temporárias para pessoas jurídicas interessadas em desenvolver e testar modelos de negócios inovadores. Essas autorizações são concedidas em caráter precário e provisório, possibilitando a dispensa de requisitos regulatórios ordinários, desde que sejam estabelecidos limites, metas e salvaguardas específicas.[228]

A estrutura proposta também contempla instâncias dedicadas ao gerenciamento do Sandbox, como o Comitê do Sandbox e o Gestor do Sandbox. O Comitê, composto por representantes de diferentes superintendências da ANTAQ, será responsável por aprovar as propostas de participação, emitir pareceres conclusivos e elaborar os Termos de Encerramento. Já o Gestor do Sandbox, atribuído à Superintendência de ESG e Inovação (SESGI), terá a função de formular o portfólio anual de projetos, aprovar termos de referência, orientar internamente as áreas técnicas e supervisionar os participantes. Essa governança interna reflete uma preocupação com a organização e a clareza dos processos, características já observadas em modelos implementados por outras agências reguladoras, como a ANEEL.[229]

O conceito de "modelo de negócio inovador" também é detalhado, abrangendo atividades que utilizem tecnologias inéditas, empreguem usos inovadores de tecnologias existentes ou desenvolvam produtos e serviços ainda não disponíveis no mercado de transporte aquaviário nacional. Além disso, o modelo proposto pela ANTAQ busca incentivar iniciativas que promovam ganhos de eficiência, redução de custos e ampliação do acesso ao mercado.

Os objetivos do Sandbox Regulatório da ANTAQ incluem a modernização e aumento da produtividade do transporte aquaviário, o fomento à inovação em temas relacionados à segurança operacional e à facilitação da navegação e operação portuária, além da promoção da competitividade das empresas brasileiras e da atração de investimentos estrangeiros. Destacam-se também a valorização da segurança jurídica e da liberdade contratual como premissas para a

[227] AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. Tomada de Subsídios nº 2/2024: consulta pública para obtenção de contribuições sobre o Sandbox Regulatório. Brasília, DF: ANTAQ, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/antaq. Acesso em: 15 dez. 2024.
[228] Ibidem.
[229] Ibidem.

promoção de investimentos e a ampliação da cooperação entre os setores público e privado. A resolução ainda inclui princípios relacionados à sustentabilidade ambiental.[230]

A minuta prevê que as normas regulatórias da ANTAQ poderão ser afastadas parcialmente ou integralmente no âmbito do Sandbox, desde que compatíveis com os objetivos da regulação experimental. Os normativos afastados poderão abranger contratos de exploração de áreas e infraestruturas portuárias, instrumentos de gestão ambiental, restrições operacionais e modelos de remuneração, entre outros. No entanto, os direitos dos usuários quanto à prestação de serviços adequados, as leis e os decretos em vigor, bem como obrigações contratuais previamente estabelecidas, permanecem inalterados, demonstrando a preocupação inicial com a segurança jurídica para terceiros.[231]

Um aspecto inovador do modelo proposto pela ANTAQ é a elaboração de portfólios anuais de projetos de Sandbox. Esses portfólios serão divulgados publicamente e poderão incluir temas prioritários indicados pelas Superintendências Patrocinadoras. A seleção dos participantes ocorrerá por meio de chamamentos públicos, que estabelecerão cronogramas e critérios de elegibilidade. De forma alternativa, empresas interessadas poderão apresentar propostas diretamente às superintendências, desde que alinhadas aos princípios e objetivos estabelecidos na resolução. O processo de seleção valorizará projetos maduros, alinhados à agenda regulatória e ambiental da ANTAQ, com potencial de promover avanços regulatórios e redução de impactos ambientais.

A participação no Sandbox Regulatório será formalizada por meio da assinatura de Termos de Adesão, que delimitarão o escopo das autorizações temporárias, incluindo os locais, condições, metas e salvaguardas aplicáveis a cada projeto. Essas autorizações terão duração máxima de 24 meses, sem possibilidade de prorrogação, sendo estruturadas em fases que incluem iniciação, organização, execução e encerramento. A supervisão e o monitoramento das atividades ficarão a cargo da Superintendência de Regulação (SRG), que analisará os resultados alcançados e poderá recomendar alterações normativas com base nos aprendizados obtidos.

A resolução também estabelece medidas para mitigar riscos e garantir a segurança das operações no ambiente experimental. As empresas participantes deverão apresentar planos detalhados de mitigação de riscos e de contingência para a descontinuação ordenada das atividades, caso necessário. Além disso, o Gestor do Sandbox poderá recomendar a suspensão

[230] Ibidem.
[231] Ibidem.

ou o cancelamento de autorizações temporárias em casos de descumprimento dos deveres estabelecidos, falhas operacionais graves ou identificação de riscos excessivos.

Por fim, é válido também citar que, nos últimos anos, diversos entes federativos subnacionais desenvolveram metodologias regulatórias experimentais próprias, baseadas no conceito de Sandbox Regulatório, como os municípios de Londrina e Foz do Iguaçu, no estado do Paraná, e o município do Rio de Janeiro, no estado do Rio de Janeiro.[232]

Mesmo assim, cabe ressaltar que a presente análise histórica-normativa foi realizada em instrumentos de experimentação regulatória de definição similar ao Sandbox Regulatório. Outros experimentos regulatórios, como projetos-piloto ou soluções regulatórias individuais, também são desenvolvidos no Brasil em quantidade relevante nos últimos anos, não tendo sido foco da presente análise.

3.5. CASOS DE APLICAÇÃO DE EXPERIMENTALISMO PELA AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS

Conforme mencionado anteriormente neste trabalho, a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) ainda não desenvolveu um modelo formal de Sandbox Regulatório. Contudo, diversas iniciativas, que podem ser classificadas como experiências de experimentalismo regulatório, já foram implementadas pela agência, evidenciando esforços no para promover inovação e se adaptar a novas demandas do mercado.

Para os propósitos deste estudo, serão analisados três projetos-piloto que se destacam por sua relevância e impacto regulatório: (i) o Projeto Poço Transparente; (ii) o Projeto-piloto de delivery de combustíveis automotivos; e (iii) a Avaliação da qualidade da mistura biometano/gás natural realizada nas dependências da distribuidora de gás do Ceará (Cegás). Esses projetos representam exemplos concretos de como a ANP tem utilizado instrumentos temporários e flexíveis para testar soluções inovadoras no setor de petróleo, gás e biocombustíveis.

[232] QUIRINO, Carina de Castro; HOCAYEN, Helena Gouvêa de Paula; CUNHA, Marcella Brandão Flores da. Sandbox regulatório: instrumento experimentalista à disposição da Administração Pública local como suporte ao desenvolvimento econômico. *Revista de Direito Público da Economia – RDPE*, Belo Horizonte, ano 21, n. 84, pp. 9-33, out. 2024, p. 9.

Dentre as diversas autorizações temporárias emitidas pela ANP e mapeadas no presente estudo, esses três projetos foram selecionados devido a dois fatores principais. Primeiro, são as únicas experiências identificadas que contam com processos administrativos públicos disponíveis, permitindo uma análise detalhada das razões e do contexto que justificaram a emissão das autorizações. Segundo, essas iniciativas oferecem uma oportunidade de compreender como a ANP tem interpretado e aplicado o experimentalismo regulatório em sua prática administrativa, ainda que de maneira não formalizada sob a estrutura de um Sandbox Regulatório.

A escolha desses casos também reflete a intenção de explorar como a ANP tem conciliado a necessidade de inovação com a segurança regulatória e a proteção dos interesses públicos. Cada projeto-piloto será analisado à luz de sua concepção, dos critérios utilizados para a concessão das autorizações temporárias e dos resultados obtidos (se existentes), contribuindo para uma discussão mais ampla sobre o papel do experimentalismo regulatório no setor energético brasileiro.

Com base nessa análise, espera-se identificar diretrizes que possam informar futuras iniciativas da ANP e de outras agências reguladoras, além de oferecer insights sobre como modelos experimentais podem ser formalizados e aprimorados para atender aos desafios contemporâneos do setor.

3.5.1. PROJETO POÇO TRANSPARENTE

O Projeto Poço Transparente é uma iniciativa de 2022 promovida pelo Ministério de Minas e Energia (MME), em colaboração com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), para fomentar a inovação e a transparência na exploração de hidrocarbonetos em reservatórios não convencionais no Brasil. [233]

Regulamentado por instrumentos como a Resolução CNPE nº 28/2021, o Decreto nº 10.336/2020 e o Edital de Qualificação de Projetos de dezembro de 2022, o projeto também faz parte das ações estratégicas do Programa de Parcerias de Investimentos (PPI) do governo federal. Seu objetivo central era ampliar o conhecimento técnico e regulatório sobre a produção

[233] DELGADO, Fernanda. Projeto Poço Transparente: testes para reservatórios de baixa permeabilidade – gerando conhecimento via avaliação ambiental prévia estratégica. FGV Energia, v. 10, 2018. Disponível em: https://periodicos.fgv.br/bc/article/view/87248/82061. Acesso em: 15 dez. 2024.

de petróleo e gás natural em formações geológicas de baixa permeabilidade, além de revisar periodicamente o marco regulatório brasileiro para incorporar as lições aprendidas. Até o presente momento, as inscrições para submissão de interesse na participação ainda não foram abertas.[234]

O conceito de "Poço Transparente" é definido no edital do projeto como um conjunto de operações monitoradas que abrange etapas fundamentais, como perfuração, fraturamento hidráulico, testes de produção, produção propriamente dita e abandono do poço. Essas operações seriam realizadas de forma transparente, com informações técnicas, ambientais e operacionais sendo disponibilizadas ao público.

O fraturamento hidráulico e a exploração de hidrocarbonetos em reservatórios não convencionais no Brasil apresenta um histórico turbulento, marcado por conflitos regulatórios e ações judiciais que moldaram significativamente o panorama atual. Durante a 12ª Rodada de Licitações realizada pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) em 2013, 240 blocos exploratórios de hidrocarbonetos em reservatórios não convencionais foram ofertados, com 72 sendo arrematados em sete bacias sedimentares, incluindo áreas ambientalmente sensíveis, como as bacias do Paraná e Parecis.[235]

A rodada enfrentou resistência imediata devido à necessidade de utilização de fraturamento hidráulico para essa exploração, técnica essencial para explorar formações de baixa permeabilidade. As controvérsias começaram a se intensificar com o ajuizamento de ações judiciais por órgãos como o Ministério Público Federal (MPF), que buscavam proteger o meio ambiente e as comunidades afetadas. A Ação Civil Pública nº 5001010-57.2014.4.03.6105, movida em São Paulo, apontou que os blocos licitados careciam de estudos prévios de impacto ambiental (EIA/RIMA), especialmente considerando os riscos associados ao fraturamento hidráulico, como contaminação de aquíferos e uso intensivo de água. Além disso, a ação destacou a ausência de consultas prévias a populações indígenas e quilombolas potencialmente impactadas pelas atividades exploratórias.[236]

---

[234] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Projeto Poço Transparente. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/projeto-poco-transparente. Acesso em: 15 dez. 2024.

[235] DINIZ, Erick Sobral. Entre os custos regulatórios e os incentivos governamentais: perspectivas para exploração e produção de shale gas em campos onshore. 2021. 106 f. Dissertação (Mestrado em Direito) – Escola de Direito do Rio de Janeiro, Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, 2021. Orientador: Antonio José Maristrello Porto.

[236] Ibidem.

Paralelamente, outra ação relevante foi ajuizada no Paraná (Processo nº 5024205-52.2015.4.04.7000), onde o MPF argumentou que as licitações haviam ignorado o princípio da precaução, crucial em atividades de elevado risco ambiental e de baixo conhecimento sobre seus impactos. Essa ação também destacou a falta de regulamentação específica para o fraturamento hidráulico no Brasil, ressaltando que a ausência de diretrizes claras agravava os riscos ambientais e sociais.[237]

Em ambos os casos, as decisões judiciais determinaram a suspensão das operações até que requisitos rigorosos de segurança operacional fossem atendidos, estabelecendo precedentes importantes para o setor. O impacto dessas decisões foi significativo: as atividades de exploração de hidrocarbonetos em reservatórios não convencionais permaneceram suspensas em várias áreas, e os investimentos nesse setor diminuíram drasticamente.[238]

A ANP, por sua vez, enfrentou críticas pela condução da rodada de ofertas de blocos sem uma regulamentação robusta para tecnologias de alto risco e pela dificuldade em atender às demandas judiciais. Nesse contexto, o Projeto Poço Transparente representa uma tentativa de revitalizar o debate e superar o legado das controvérsias judiciais. Ao propor operações monitoradas com ampla divulgação de informações ambientais e operacionais, o projeto buscaria reconstruir a confiança e demonstrar que é possível conciliar inovação tecnológica com responsabilidade ambiental e social.[239]

Considerado esse histórico turbulento do fraturamento hidráulico, o projeto buscou criar um ambiente de experimentação controlada, no qual a sociedade pudesse acompanhar e avaliar a execução de atividades associadas à exploração de recursos não convencionais, promovendo um debate técnico-informado sobre sua viabilidade. Reservatórios não convencionais são caracterizados por sua baixíssima permeabilidade, com valores inferiores a 0,1 miliDarcy, o que dificultaria o fluxo natural de hidrocarbonetos. Isso exige a aplicação de técnicas avançadas para extração, como o fraturamento hidráulico, citado anteriormente.

No contexto do projeto, essa técnica de fraturamento hidráulico consiste na injeção de grandes volumes de fluidos pressurizados para gerar fraturas na rocha, possibilitando o escoamento de petróleo e gás natural. O edital destaca que, para os testes realizados no Projeto

[237] Ibidem.
[238] Ibidem.
[239] Ibidem.

Poço Transparente, os volumes de fluido utilizados serão superiores a 3.000 metros cúbicos, atendendo às especificações técnicas de exploração de formações de baixa permeabilidade.[240]

Durante a fase de consulta pública que precedeu a publicação do edital, o Ministério de Minas e Energia recebeu 132 contribuições de diferentes agentes da sociedade civil, do setor privado e de instituições públicas, demonstrando o intenso interesse social na questão, em vista dos riscos aplicáveis para esse tipo de projeto.[241]

Desse total, 89 foram acatadas, total ou parcialmente, e desempenharam um papel essencial na formulação dos critérios de participação, incentivos e mecanismos de acompanhamento do projeto.[242]

Dentre os critérios de seleção previstos no edital, destacam-se a maturidade técnica e financeira dos proponentes, a experiência comprovada em operações similares de exploração e produção, e a capacidade de apresentar planos detalhados de mitigação de impactos ambientais. Os proponentes deveriam, ainda, comprovar que suas operações de fraturamento hidráulico não comprometerão aquíferos utilizáveis para consumo humano ou industrial. Outro critério importante é o potencial inovador das propostas, seja pela utilização de novas tecnologias, seja pela adoção de práticas operacionais sustentáveis e replicáveis.

O acompanhamento das atividades realizadas no âmbito do projeto seria coordenado pelo Departamento de Política de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural (DEPG) do MME, com suporte de outras entidades reguladoras e ambientais, como a ANP e o IBAMA.

Além da estrutura dos órgãos responsáveis, o edital também disõe sobre a metodologia de acompanhamento. As Reuniões de Avaliação e Acompanhamento (RAAs) seriam realizadas mensalmente. Essas reuniões teriam como objetivo principal avaliar o progresso das atividades, discutir eventuais ajustes necessários e verificar o cumprimento das metas e salvaguardas estabelecidas. Durante as RAAs, os participantes devem apresentar relatórios técnicos detalhados contendo informações sobre o desempenho operacional, os impactos ambientais e quaisquer desvios em relação ao planejamento original.

---

[240] MONTGOMERY, Carl T.; SMITH, Michael B. Hydraulic fracturing: history of an enduring technology. Journal of Petroleum Technology, v. 62, n. 12, p. 26-40, 2010.
[241] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Projeto Poço Transparente. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/projeto-poco-transparente. Acesso em: 15 dez. 2024.
[242] Ibidem.

Além das RAAs, os participantes seriam obrigados a fornecer acesso irrestrito às informações operacionais relevantes, incluindo dados sobre o fraturamento hidráulico, medições ambientais e medidas de segurança adotadas. Essas informações seriam analisadas pelas entidades reguladoras, que poderão realizar visitas técnicas aos locais de operação para verificar in loco a conformidade com os critérios estabelecidos. A ANP, como uma das principais responsáveis pelo acompanhamento técnico, teria um papel central na supervisão das atividades, avaliando a eficiência dos métodos utilizados e a integridade das operações.

O edital também exige que os participantes elaborem e submetam planos de mitigação de riscos, os quais devem ser aprovados antes do início das operações. Caso seja identificada qualquer falha grave na implementação dessas medidas, as autoridades reguladoras poderão intervir para exigir correções imediatas, diretamente sobre as operações de dia a dia.

Os resultados obtidos durante o acompanhamento seriam compilados em relatórios finais elaborados pelas entidades reguladoras. Esses relatórios serviriam como base para avaliar os impactos do projeto e identificar potenciais ajustes no marco regulatório.

É possível identificar que um elemento central do Projeto Poço Transparente é a obrigatoriedade de divulgação de informações técnicas, operacionais e ambientais. Além do acompanhamento já citado e toda a fiscalização por parte dos órgãos estatais, o edital também exige que todos os dados sejam disponibilizados em um portal eletrônico, permitindo que a sociedade acompanhe as operações em tempo real. Isso inclui desde medições de monitoramento ambiental até relatórios de desempenho das atividades.

O edital também prevê um amplo controle dos entes reguladores sobre as atividades, com diversas hipóteses de revogação, como o descumprimento das condições estabelecidas no edital ou a detecção de falhas operacionais graves que comprometam a segurança ou a sustentabilidade das atividades. Outros motivos que podem levar à revogação incluem a apresentação de informações falsas, o não cumprimento dos critérios de elegibilidade após o início das operações ou o desenvolvimento de atividades substancialmente distintas daquelas aprovadas originalmente.

A ANP e as demais entidades reguladoras envolvidas têm autoridade para tomar decisões relativas à suspensão ou revogação das autorizações, com base em pareceres técnicos emitidos pelas equipes de acompanhamento. Antes da revogação definitiva, os participantes têm o direito de apresentar justificativas e corrigir os problemas identificados, conforme

previsto na regulamentação. No entanto, em casos de risco iminente à segurança pública, ao meio ambiente ou à integridade das operações, a revogação pode ser imediata.

Embora não seja possível analisar a funcionalidade dos mecanismos do edital, em razão do projeto não ter sido continuado até o momento, é interessante analisar que a ANP participou ativamente do desenvolvimento de um projeto de cunho experimental, com uma modelagem robusta. Essa experiência oferece diretrizes importantes para o desenvolvimento de modelos experimentais por parte do pessoal da agência.

Embora não seja nomeada como uma experiência de Sandbox Regulatório, o Projeto do Poço Transparente apresenta característica semelhantes de modelagem, como a flexibilidade de regras, temporalidade e o escopo definido. Ou seja, sendo base para futuras experiências de Sandbox da agência.

3.5.2. PROJETO PILOTO DELIVERY DE COMBUSTÍVEIS

Um caso paradigmático de autorização de projeto piloto, ou projeto experimental, pela ANP foi o do aplicativo GOfit, o primeiro delivery de combustíveis automotivos do Brasil. Esse modelo de negócios foi inspirado em iniciativas desenvolvidas em outros países, particularmente nos Estados Unidos, Canadá e Reino Unido. Empresas como Booster Fuels, Filld e Zebra Fuel já haviam implementado serviços similares nesses mercados, oferecendo entrega de combustíveis diretamente ao consumidor final.[243]

No Brasil, esse modelo de negócios esbarrou em barreiras regulatórias expressas. A cadeia produtiva do petróleo, que culmina na produção de combustíveis automotivos, derivados do petróleo, é estrutura principalmente a partir das etapas de exploração/produção, transporte, refino, distribuição e revenda. Conforme disposições da Lei 9.478/1997 (“Lei do Petróleo”), a ANP tem competências como órgão regulador da indústria do petróleo e seus derivados, tendo desenvolvido regulação setorial para cada uma das etapas econômicas citadas.[244]

[243] E OLIVEIRA, L. F., & Leite, M. L. (2023). Sandbox regulatório e o caso Go Fit de delivery de combustível. Revista Semestral De Direito Empresarial, 15(29), 25–44.
[244] BRASIL. Lei n.º 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 ago. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm. Acesso em: 26 jan. 2025.

Conforme art. 6º, inciso XXI da Lei do Petróleo, a etapa de revenda compreende a atividade de venda a varejo de combustíveis, lubrificantes e gás liquefeito envasado, exercida por postos de serviços ou revendedores. Na regulação setorial da ANP, a revenda é tradicionalmente dividida na revenda em estabelecimentos de abastecimento, como postos de gasolina, e na revenda retalhista, exercida por meio de transportadores revendedores retalhistas (TRR), que seria aquisição de grande quantidade combustível a granel para depois vender a retalhos, por meio de caminhões tanque. Mesmo assim, as atividades da GOfit não seriam enquadradas em nenhuma das duas definições regulatórias da ANP.

Pelas informações prestadas pela GOfit no âmbito do Processo Administrativo ANP nº 48610.226648/2021-95, a operação de delivery seria viabilizada por uma frota de caminhonetes equipadas com tanques de até 1.000 litros, abastecidos em postos de gasolina parceiros, transportando gasolina C e etanol para os consumidores finais. Os consumidores poderiam agendar o abastecimento em horários e locais específicos para o abastecimento.[245]

A Nota Técnica nº 5/2019, elaborada pela Superintendência de Fiscalização do Abastecimento (SFI) da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), ao analisar a conformidade desse modelo com o arcabouço regulatório vigente e os desafios que ele apresenta para a fiscalização e regulamentação no setor de abastecimento, citou que o modelo, apesar de inovador, foi implementado sem prévia consulta à ANP, levando a denúncias por agentes econômicos regulados, o que motivou a fiscalização por parte da Agência.[246]

A fiscalização foi realizada em um dos caminhões da GOfit, seguida de uma reunião com representantes da empresa e de outros órgãos públicos, como o Instituto Estadual do Ambiente (INEA), a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e a Secretaria Municipal de Meio Ambiente.[247]

Durante a reunião, a GOfit apresentou detalhes do modelo de negócios, incluindo medidas de segurança adotadas, certificações dos equipamentos, logística operacional e o relacionamento contratual com os postos revendedores.[248]

---

[245] GOFIT. Carta n.º SEI 1858434, enviada no âmbito do Processo Administrativo ANP n.º 48610.226648/2021-95. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), 2021.
[246] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Nota Técnica n.º 5/2019/SFI-CPER/SFI/ANP-RJ, emitida no âmbito do Processo Administrativo SEI n.º 48610.220691/2019-22. Rio de Janeiro: ANP, 2019.
[247] Ibidem.
[248] Ibidem.

A agência teria levantado durante a reunião a preocupação sobre o modelo da GOfit, que envolve a entrega de combustíveis diretamente ao consumidor final por meio de um aplicativo móvel, levantar questões regulatórias importantes, especialmente porque a Resolução ANP nº 41/2013 determina que a atividade de revenda varejista de combustíveis deve ocorrer exclusivamente no próprio estabelecimento autorizado. Além disso, o artigo 21 da referida resolução também vedaria expressamente a comercialização e entrega de combustíveis automotivos fora do local de revenda, o que colocaria o modelo de negócios da GOfit em um campo regulatório ainda não explorado pelo mercado brasileiro. Essa restrição visaria garantir a rastreabilidade dos produtos, a segurança no transporte e a eficácia da fiscalização. Ou seja, embora o modelo de negócios pudesse ser inovador para a revenda de combustíveis, ainda restaria uma vedação regulatória direta para o seu desenvolvimento.[249]

A GOfit argumentou que o modelo de negócios era seguro e poderia trazer benefícios aos consumidores e ao mercado, sugerindo a criação de um ambiente regulatório temporário, nos moldes de um sandbox regulatório, para testar o modelo e avaliar sua viabilidade.

Apesar dos argumentos apresentados, no dia 6 de novembro de 2019, o serviço foi suspenso por decisão liminar da 45ª Vara Cível do Estado do Rio de Janeiro, em resposta a uma ação civil pública movida pelo Sindicato do Comércio Varejista de Combustíveis e Lubrificantes e de Lojas de Conveniência do Município do Rio de Janeiro (SINDCOMB).

A decisão determinou a imediata cessação das atividades da GOfit, nomeando a ANP como amicus curiae no processo. A suspensão permaneceu em vigor enquanto a ANP continuou discutindo no âmbito do Processo Administrativo ANP nº 48610.220691/2019-22 as condições necessárias para regular ou não a atividade, considerando o interesse público e a conformidade com os princípios da segurança, da qualidade e da proteção ambiental.

A Superintencia de Distribuicao e Logistica (SDL) da ANP, ao apresentar a Análise Nº 98/2019/SDL-CREG/SDL no âmbito do processo administrativo citado, concluiu que, em vista da dinamicidade do mercado de abastecimento regulado pela ANP, o ente estatal é em geral mais reativo do que propositivo, entendendo natural a obsolescência e desajuste do arcabouço regulatório dadas a dinâmica da vida econômica e da inovação tecnológica.[250]

---

[249] Ibidem.

[250] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Análise n.º 98/2019/SDL-CREG/SDL, emitida no âmbito do Processo Administrativo SEI n.º 48610.220691/2019-22. Rio de Janeiro: ANP, 2019.

A SDL cita ainda entender que não deveria ser o ente estatal como impedidor do desenvolvimento de atividades sem a devida e proporcional motivação, dado que rege a vida pública no Brasil o princípio da livre iniciativa, em respeito à CRFB/88. Não restando maiores prejuízos à coletividade, não caberia à administração impedir a inovação e a evolução econômica.[251]

Nesse sentido, a SDL propôs que, considerando que não existiria regramento específico para disciplinar o modelo pretendido, poderia ser instaurado um programa piloto, restrito a uma região geográfica e com prestação constante de informações referentes à atividade pretendida pelo agente, bem como a proposição de regramento, cuja desobediência ensejaria cancelamento imediato da autorização excepcionalmente concedida à sociedade, dado o caráter precário de sua concessão.[252]

Posteriormente, a Procuradoria Federal Junto à ANP, por meio do PARECER nº 01301/2019/PFANP/PGF/AGU e do DESPACHO nº 02542/2019/PFANP/PGF/AGU, apresentou parecer sobre a proposta da SDL. Em um primeiro momento, a procuradoria expressou vislumbrou óbices legais, em especial aos princípios da impessoalidade e da publicidade, na proposição da SDL à Diretoria Colegiada da ANP, caso a autorização se desse apenas para o desenvolvimento individual do modelo de negócios da GOfit, em vista da impossibilidade do desenvolvimento da mesma atividade por agentes terceiros interessados.[253]

Nesse primeiro momento, a procuradoria teria recomendado a confecção de edital para o desenvolvimento de um modelo completo de Sandbox Regulatório, com condições para eligibilidade de agentes, a definição de critérios e procedimento que seriam utilizados na seleção dos participantes, amplo conhecimento da iniciativa e das condições para participação e definição de parâmetros para o monitoramento continuo das atividades das participantes, utilizando as minutas de resolução da SUSEP e CVM como fonte naquilo que fossem compatíveis com o projeto que a ANP pretendia acompanhar.[254]

Em um segundo momento, o procurador geral junto à ANP exarou parecer acatando de forma parcial as recomendações exaradas pela procuradoria. Embora tenha sido reconhecida a

---

[251] Ibidem.
[252] Ibidem.
[253] ADVOCACIA-GERAL DA UNIÃO (AGU). Parecer n.º 01301/2019/PFANP/PGF/AGU, emitido no âmbito do Processo Administrativo SEI n.º 48610.220691/2019-22. Rio de Janeiro: AGU, 2019; e ADVOCACIA-GERAL DA UNIÃO (AGU). Despacho n.º 02542/2019/PFANP/PGF/AGU, emitido no âmbito do Processo Administrativo SEI n.º 48610.220691/2019-22. Rio de Janeiro: AGU, 2019.
[254] Ibidem.

aplicabilidade de um modelo experimental para o caso em tela, cita o procurador que não seria necessária a elaboração do edital recomendado no parecer anterior. Além de atrasar o processo regulatório e a inserção do serviço no mercado, a abertura para participação de outros interessados através de um certame não se mostraria aplicável pela ausência de concorrência.[255]

O procurador geral entendeu que a escolha de uma empresa para o projeto piloto não impediria a manifestação de interesse de outras empresas. Caso surgissem outros interessados, a agência, nos limites de suas possibilidades de acompanhamento, poderia autorizar projetos experimentais em outras localidades, sob as mesmas condições.[256]

Nesse sentido, o procurador geral não vislumbrou óbices jurídicos a realização de um projeto piloto individual para entrega de combustível por meio de delivery, com a derrogação pontual das normas proibitivas. A permissão poderia ser feita por meio de acordo integrativo, na forma de um termo de compromisso autorizativo, que estabelecesse principalmente um prazo para a flexibilização das normas regulatórias, o escopo do projeto, requisitos técnicos de segurança, assegurando que a empresa se responsabilize por quaisquer danos decorrentes de sua operação e um sistema robusto de monitoramento e avaliação. Durante o período de testes, a empresa seria obrigada a fornecer todas as informações necessárias para que a ANP possa acompanhar o desenvolvimento do projeto e avaliar seus impactos. [257]

Além disso, recomendou o procurador geral que, no âmbito do acordo integrativo, fosse condicionada a autorização do projeto piloto ao pagamento de uma multa devida pelo ilícito administrativo inicial, do desenvolvimento de atividade regulada sem a devida autorização pela ANP.

Em março de 2020, por meio da Resolução de Diretoria 122/2020, a Diretoria Colegiada da ANP decidiu autorizar, excepcionalmente, a implantação do projeto piloto para o exercício da atividade de entrega de combustível líquido, especificamente a gasolina C e o etanol hidratado, em local diverso do estabelecimento da revenda varejista, na modalidade delivery, por meio de celebração de um termo de compromisso autorizativo.

O estabelecimento do projeto piloto e a continuidade das discussões junto à ANP resultou na publicação da Resolução ANP n.º 858, de 05 de novembro de 2021, que revisou o

[255] Ibidem.
[256] Ibidem.
[257] Ibidem.

regramento de comercialização do revendedor varejista, garantindo a possibilidade da venda direta de gasolina comum e etanol fora dos postos de gasolina.[258]

As discussões sobre a viabilidade do caso continuaram nos últimos anos, já que uma decisão em liminar de outubro de 2023, da 1ª Vara Federal Cível e Criminal da SSJ de Uberlândia-MG, vedou a prática em 14 municípios de Minas Gerais, na ação civil pública 1007923-88.2023.4.06.3803.

Em abril de 2024, a ANP obteve vitória em recurso (agravo de instrumento) junto ao Tribunal Regional Federal da 6ª Região (TRF-6) liberando, em todo o território nacional, a revenda de combustíveis fora do estabelecimento comercial, deferindo o pedido da Agência de efeito suspensivo no recurso.

Pelo relato, é interessante concluir que o caso do aplicativo GOfit demonstra que o corpo técnico da ANP já possui conhecimento consolidado sobre diferentes formas de experimentalismo regulatório, aplicando, na prática, metodologias adaptadas às demandas de casos específicos.

Neste caso, o desenvolvimento de um projeto piloto para o delivery de combustíveis, com derrogação pontual de normas proibitivas, foi considerado mais adequado que a adoção de um Sandbox Regulatório, conforme demonstrado pelas discussões dos pareceres da AGU.

A analisar a questão e concluir que o modelo de Sanndbox não atenderia às necessidades do projeto, sugerindo um formato mais direto e ajustado às características da iniciativa, foi demonstrada uma abordagem pragmática e adaptativa da agência para lidar com inovações que desafiam o arcabouço regulatório vigente.

A escolha pelo projeto piloto, formalizada por meio de um termo de compromisso autorizativo, buscou, conforme a descrição dos atos administrativos do caso, um equilíbrio entre a necessidade de testar a viabilidade do modelo de negócios e a garantia de segurança regulatória e proteção ao interesse público.

[258] DE OLIVEIRA, L. F., & Leite, M. L. (2023). Sandbox regulatório e o caso Go Fit de delivery de combustível. Revista Semestral De Direito Empresarial, 15(29), 25–44.

3.5.3. PROJETO PILOTO DE BIOMETANO

Outro caso paradigmático da aplicação de um projeto piloto, por meio da outorga de uma autorização excepcional, foi do projeto piloto para comercialização de biometano da GNR Fortaleza com a CEGÁS, com características teor de metano, IW (Índice de Wobbe) e PCS (Poder Calorífico Superior) fora de especificação de gás natural definida pela ANP, conforme Autorização ANP 863/2023.[259]

O biometano é um gás renovável produzido a partir da purificação do biogás, geralmente gerado pela digestão anaeróbica de matéria orgânica, como resíduos agrícolas, resíduos sólidos urbanos e efluentes industriais. Outras formas de obtenção incluem a gaseificação de biomassa e o processo conhecido como "*power-to-gas*", no qual eletricidade excedente de fontes renováveis é utilizada para produzir hidrogênio por eletrólise, que posteriormente é combinado com dióxido de carbono para formar metano sintético.[260]

Independentemente do método, o biogás resultante é submetido a processos de purificação para aumentar sua concentração de metano (CH_4) e remover contaminantes como sulfeto de hidrogênio (H_2S), amônia e siloxanos. Após essa purificação, o biogás transforma-se em biometano, insumo quimicamente semelhante ao gás natural, tornando-se apto para aplicações diversas, incluindo geração de energia, transporte e injeção em redes de gasodutos do biometano.[261]

Enquanto o gás natural tem padrões consolidados de qualidade, o biometano, dependendo de sua origem e do processo de purificação, pode apresentar variações na composição química, poder calorífico, densidade e índice de Wobbe. Este último é especialmente relevante, pois mede a energia liberada por unidade de volume em condições específicas de pressão e temperatura, sendo crucial para garantir a compatibilidade com equipamentos e a segurança do sistema de movimentação de gás natural.[262]

---

[259] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Autorização ANP n.º 863, de 8 de novembro de 2023. Publicada no Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 nov. 2023. Processo Administrativo ANP n.º 48610.205460/2023-75.

[260] STEPHAN, B. Market development and certification schemes for biomethane. The Biogas Handbook, Elsevier, 2013. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857094988500191. Acesso em: 7 dez. 2024.

[261] Ibidem.

[262] PERSSON, M.; JÖNSSON, O.; WELLINGER, A. Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection. IEA Bioenergy Task Report, 2006. Disponível em: http://213.229.136.11/bases/ainia_agrobiomet.nsf/0/0AD612EE29B0C370C1257554003E8A10/$FILE/upgrading_report_final.pdf. Acesso em: 7 dez. 2024.

Adicionalmente, a injeção de biometano na rede de gás enfrenta desafios relacionados à pressão e ao controle de qualidade. A pressão exigida pelos gasodutos varia entre redes de alta e baixa pressão, requerendo investimentos em compressores e estações de ajuste. Além disso, a presença de contaminantes residuais, mesmo em baixos níveis, pode afetar os materiais e equipamentos da infraestrutura existente, como válvulas e turbinas, exigindo monitoramento constante.[263]

O projeto piloto proposto pela GNR Fortaleza é uma resposta à necessidade de adaptar as especificações regulatórias à realidade operacional e tecnológica da produção de biometano no Brasil. A empresa é pioneira na injeção de biometano diretamente na rede de uma distribuidora de gás canalizado, sendo responsável por cerca de 16% do gás consumido na região metropolitana de Fortaleza. No entanto, a produção enfrenta desafios técnicos significativos, especialmente em relação ao elevado teor de nitrogênio no biogás proveniente dos aterros sanitários, o que afeta os índices de qualidade exigidos pela Resolução ANP nº 886, de 2022.

O biometano produzido pela GNR Fortaleza, diferentemente do gás natural, é composto quase exclusivamente por metano, sem a presença de outros hidrocarbonetos. O teor elevado de nitrogênio, um componente inerte, reduz o Índice de Wobbe (IW) e o Poder Calorífico Superior (PCS), impactando a conformidade com as especificações regulatórias.

Embora a resolução permita o enriquecimento do biometano com gás natural, GLP ou propano, essa solução comprometeria a certificação do biocombustível no Renovabio e em mercados internacionais, que exigem um produto 100% renovável. Além disso, a adaptação intramuros para remoção do nitrogênio requer investimentos significativos, o que também inviabiliza economicamente a solução.

O projeto piloto propõe um arranjo experimental no qual o biometano é analisado tanto na saída da planta da GNR Fortaleza quanto após sua mistura com gás natural no *citygate* de Maracanaú, utilizando um cromatógrafo em linha para monitorar a qualidade do produto. Essa abordagem permite avaliar a viabilidade técnica e operacional de manter as características de

[263] URBAN, W. Low-pressure biomethane networks: challenges and solutions. The Biogas Handbook, Elsevier, 2013. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857094988500166. Acesso em: 7 dez. 2024.

qualidade do gás após a mistura, sem comprometer a segurança e a uniformidade do produto entregue ao consumidor final.[264]

Além disso, o projeto incorpora medidas adicionais para garantir a segurança e o controle de qualidade. Caso sejam detectadas tendências de desvio nos parâmetros especificados, o sistema modulará automaticamente a quantidade de biometano injetada no misturador, redirecionando o excedente para o flare da planta. Essa estratégia garante que o gás natural misturado ao biometano atenda integralmente às especificações da Resolução ANP nº 16, de 2008, que regulamenta o gás natural.[265]

Outro aspecto crítico do projeto é o impacto sobre a sustentabilidade e a redução de emissões. A proposta prevê um incremento de até 5% no volume de biometano injetado na rede da CEGÁS, com redução do teor de metano de 95% para 90%, garantindo que os objetivos regulatórios sejam atendidos sem desperdício significativo de recursos. Esse ganho é particularmente relevante em um contexto de transição energética, no qual o biometano desempenha um papel central na descarbonização do setor de gás.

Ainda, a realização do projeto piloto permitiria à ANP coletar dados empíricos sobre as operações da GNR Fortaleza, avaliando não apenas os desafios técnicos, mas também as implicações econômicas e ambientais do modelo. Essas informações seriam fundamentais para possíveis ajustes no marco regulatório, garantindo que a regulamentação esteja alinhada com a inovação e as demandas de um mercado em transformação.[266]

Na qualidade de relator do caso perante a Diretoria Colegiada, o Diretor Fernando Moura, da Diretoria III da ANP, votou a favor da sua aprovação pela Diretoria Colegiada da ANP. Dentre suas justificativas, o relator citou em linhas gerais que a operação com parâmetros fora das especificações já é prevista no §1º do artigo 1º da Resolução ANP nº 886/22, mas apenas para comercialização direta com consumidores industriais ou para consumo próprio. Como o pedido da GNR Fortaleza inclui a comercialização com uma distribuidora e a realização

[264] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Nota Técnica n.º 13/2023/SBQ-CRP/SBQ/ANP-RJ, emitida no âmbito do Processo Administrativo ANP n.º 48610.205460/2023-75. Rio de Janeiro: ANP, 2023.
[265] Ibidem.
[266] Ibidem.

do controle de qualidade após a mistura no citygate da CEGÁS, a autorização especial se fazia necessária.[267]

Outro fator que levou ao voto de aprovação do diretor relator foi que a proposta da empresa "*demonstrou que o arranjo operacional assegurava que o gás entregue ao consumidor final estaria em conformidade com os padrões de qualidade exigidos*"[268] e "*permitia verificar se a mistura gás natural/biometano, realizada sob custódia da CEGÁS, mantinha os parâmetros de qualidade sem prejuízo para os consumidores*".

O voto também concluiu que o tema era eminentemente técnico, dispensando análise jurídica adicional, adicionando um fato relevante para a questão – a diretoria colegiada da ANP sentiu segurança para aplicar uma metodologia experimental de regulação (projeto piloto) sem ao menos escutar o posicionamento da procuradoria relacionada.

Com isso, o voto foi pela aprovação da proposta, assegurando que a iniciativa produza informações úteis para futuras decisões regulatórias sobre o biometano no Brasil. A Diretoria Colegiada seguiu o voto do relator, aprovando o Projeto Piloto por 06 meses, por meio da Resolução de Diretoria 558/2023.[269]

Nos 06 meses seguintes, a GNR Fortaleza protocolou mensalmente atualizações de suas operações para a ANP, no âmbito do Processo Administrativo ANP nº Processo Administrativo 48610.205460/2023-75, requerendo a prorrogação da vigência da Autorização ANP nº 863/23 para 12 (doze) meses, contados de 07 de fevereiro de 2024, quando foram efetivamente iniciados os testes.

A Nota Técnica 17/2024 da ANP apresenta a análise sobre o pedido da GNR Fortaleza Valorização de Biogás Ltda. para prorrogação da Autorização ANP nº 863/2023, que permitiu a execução de um projeto piloto de seis meses envolvendo a comercialização de biometano com especificações fora dos parâmetros regulamentados pela Resolução ANP nº 886/2022.

A empresa solicitou a continuidade do projeto alegando dificuldades técnicas e operacionais que impediram a conclusão das etapas previstas no prazo originalmente estabelecido.

---

[267] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Voto n.º 44/2023/DIR III, do Diretor Fernando Moura, emitido no âmbito do Processo Administrativo ANP n.º 48610.205460/2023-75. Rio de Janeiro: ANP, 2023.
[268] Ibidem.
[269] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução de Diretoria ANP n.º 558, de 2023. Rio de Janeiro: ANP, 2023.

A partir de março de 2024, a GNR Fortaleza enfrentou alterações significativas no perfil composicional do gás natural recebido, que passou a apresentar valores próximos aos limites inferiores dos parâmetros de IW e PCS. Isso forçou a empresa a reduzir a vazão de biometano injetado no misturador, o que impactou diretamente os avanços esperados no projeto.

A empresa relatou que a modulação da válvula de injeção resultou no descarte de grandes volumes de biometano para o flare da planta, com um pico de 123.164 Nm³ descartados em maio de 2024. Essa situação foi agravada pela queda do consumo de gás natural durante a madrugada, exigindo ajustes adicionais para garantir que o mix final permanecesse dentro das especificações estabelecidas pela Resolução ANP nº 16/2008. Além disso, a redução na proporção de metano planejada para o biometano, que deveria atingir 90%, não foi alcançada, limitando-se a 93%, devido ao aumento significativo no descarte de biometano.

Em reunião com a ANP, a GNR Fortaleza apresentou justificativas relacionadas à mudança no perfil do gás natural fornecido pela Transportadora Associada de Gás S.A. (TAG), que estaria sendo influenciado pela maior proporção de gás proveniente da Unidade de Processamento de Gás Natural de Guamaré, no Rio Grande do Norte. [270]

A empresa destacou que essa composição afetou a viabilidade do projeto, mas não conseguiu apresentar garantias de que o perfil do gás retornaria à normalidade no curto prazo. Embora o projeto piloto tenha demonstrado um crescimento de 17,5% no volume de biometano injetado na rede da CEGÁS e tenha recebido feedback positivo da distribuidora, que não registrou reclamações de consumidores, a ANP considerou que as condições para a continuidade do projeto dependem de uma estabilização no perfil do gás natural.

Além disso, a Superintendência avaliou que os avanços propostos no pleito inicial não foram demonstrados de forma satisfatória, o que inviabiliza a extensão da autorização para o projeto. Com base nos dados apresentados e nas limitações operacionais enfrentadas, a ANP concluiu que, sem a normalização do perfil do gás natural, não seria possível avaliar adequadamente as condições de fornecimento de biometano fora das especificações regulamentares. Assim, recomendou o indeferimento do pedido de prorrogação do projeto piloto, destacando que o biometano comercializado após o término da autorização deverá atender integralmente às especificações estabelecidas na Resolução ANP nº 886/2022.

[270] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Nota Técnica n.º 17/2024/SBQ-CRP/SBQ/ANP-RJ. Rio de Janeiro: ANP, 2024.

Em agosto de 2024, por meio da Resolução de Diretoria 587/2024, A Diretoria Colegiada ANP resolveu indeferir o pedido de prorrogação da Autorização ANP nº 863/2023.

A análise do caso paradigmático do projeto piloto de biometano da GNR Fortaleza permite concluir que a ANP demonstrou significativa familiaridade com o conceito de projetos piloto e com a concessão de autorizações excepcionais, adaptando o arcabouço regulatório às especificidades do caso concreto.

A aprovação inicial pela Diretoria Colegiada, fundamentada no voto técnico do Diretor Relator Fernando, demonstrou a capacidade da agência de reconhecer a relevância de testar arranjos experimentais que buscassem conciliar inovação tecnológica e segurança regulatória.

Além disso, a condução do projeto revelou a já capacidade técnica da ANP em mecanismos de fiscalização adaptados a metodologias experimentais. A exigência de monitoramento contínuo da composição do gás, por meio de cromatógrafos em linha e controle operacional automatizado, ilustra o cuidado em garantir que os parâmetros regulatórios fossem observados, mesmo em um cenário experimental.

Outro aspecto relevante de ser notado foi a decisão da ANP de indeferir o pedido de prorrogação da autorização excepcional, com base na análise técnica que indicou o descumprimento de condições essenciais para a continuidade do projeto. Esse posicionamento reafirma a tecnicidade da agência em avaliar a viabilidade de iniciativas experimentais e sua disposição em estabelecer limites claros, mesmo diante de justificativas apresentadas pela empresa proponente.

4. AVALIAÇÃO CRÍTICA DA ADEQUAÇÃO DO SANDBOX REGULATÓRIO NO MARCO LEGAL DO HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL

Este capítulo visa realizar uma avaliação crítica da aplicabilidade do Sandbox Regulatório no contexto do mercado de hidrogênio verde, utilizando como base os fundamentos e informações explorados ao longo dos capítulos anteriores.

Inicialmente, serão apresentados os principais desafios regulatórios e incertezas que permeiam o setor de hidrogênio verde no Brasil, analisando aspectos como a ausência de padronização internacional, as dificuldades de certificação, os altos custos associados à produção e a complexidade logística. Esses fatores, somados à natureza já consolidada de alguns projetos e agentes do setor, questionam a premissa de que o Sandbox Regulatório seria essencial para superar essas barreiras.

A seguir, o capítulo explora alternativas regulatórias viáveis para lidar com os desafios do setor. Entre elas, destacam-se mecanismos tradicionais de regulação, como o aprimoramento das normas existentes, a possibilidade de experimentação regulatória por meio de projetos-piloto específicos e a utilização de soluções individuais para gargalos regulatórios.

Por fim, com base nas análises anteriores, o capítulo apresenta uma discussão sobre a aplicabilidade do Sandbox Regulatório ao mercado brasileiro de hidrogênio verde. Será argumentado que, embora essa ferramenta tenha sido concebida para promover a inovação em setores disruptivos e embrionários, o mercado de hidrogênio verde no Brasil apresenta características que desafiam sua adequação, como a predominância de agentes consolidados e a ausência de barreiras regulatórias estruturais que justifiquem a suspensão temporária de normas. A análise buscou, ainda, identificar potenciais riscos associados ao uso do Sandbox Regulatório no contexto do hidrogênio verde, como a possibilidade de geração de falhas de mercado, concentração econômica e desalinhamento com os objetivos de segurança jurídica e competitividade, conforme melhor descritos ao longo do Capítulo 03 do presente trabalho.

Dessa forma, este capítulo busca consolidar a posição do trabalho quanto à pertinência do Sandbox Regulatório como instrumento regulatório para o mercado de hidrogênio verde no Brasil, considerando o estágio atual de desenvolvimento do setor e os princípios fundamentais da governança regulatória eficiente. A análise proposta contribui para um debate mais amplo sobre a necessidade de inovação regulatória responsável e eficiente em setores emergentes e o

papel das ferramentas experimentais no alcance de uma transição energética sustentável e equilibrada.

4.1. DESAFIOS REGULATÓRIOS E INCERTEZAS DO SETOR DE HIDROGÊNIO VERDE

Enquanto as barreiras técnicas e econômicas para o mercado de hidrogênio verde têm recebido significativa atenção da academia e de órgãos de pesquisa, os desafios regulatórios que cercam o desenvolvimento de um mercado robusto e eficiente de hidrogênio permanecem pouco explorados.[271]

Estudos como o da International Energy Agency sublinham a importância de superar barreiras normativas para permitir o crescimento sustentável deste mercado, mas ainda existe um vácuo significativo de literatura que aborde diretamente o design de mercado e os arcabouços regulatórios necessários para sua expansão ordenada, especialmente em temas como acesso à infraestrutura, harmonização de padrões internacionais e mecanismos de precificação e certificação que incentivem a produção e comercialização do hidrogênio em escala global.[272]

Ademais, como apontado por relatórios recentes, incluindo o *Hydrogen Insights 2022*, a ausência de regulações padronizadas e incentivos claros para transporte, certificação e comercialização de hidrogênio limita investimentos e atrasa o progresso em direção às metas climáticas globais.[273] Nesse sentido, o presente subcapítulo vai ser desenvolvido para aprofundar esses aspectos.

Em primeiro lugar, é possível citar a ausência de um modelo conceitual de mercado. Embora desafios técnicos e de econômico-financeiros sejam relevantes, o desenvolvimento de

---

[271] STEINBACH, A.; BUNK, Nikolas. The future European hydrogen market: Market design and policy recommendations to support market development and commodity trading. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 70, p. 29-38, 2024. ISSN 0360-3199. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.05.107. Acesso em: 4 dez. 2024.

[272] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. The future of hydrogen: Seizing today's opportunities. 2019. Disponível em: https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen. Acesso em: 5 dez. 2024.

[273] HYDROGEN COUNCIL; McKINSEY & COMPANY. Hydrogen insights 2022: An updated perspective on hydrogen market development and actions required to unlock hydrogen at scale. 2022. Disponível em: https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2022/09/Hydrogen-Insights-2022-2.pdf. Acesso em: 5 dez. 2024.

um modelo de mercado a ser alcançado é uma etapa básica, que representa um desafio regulatório de ampla relevância e pouco citado na literatura brasileira e internacional.[274]

Um modelo conceitual de mercado é uma representação teórica que descreve e organiza os principais elementos e interações que caracterizam o funcionamento de um mercado. Ele serve como uma ferramenta para simplificar e explicar a complexidade do ambiente de mercado, possibilitando a análise de relações entre os atores econômicos (como consumidores, produtores, intermediários e reguladores), os bens ou serviços comercializados, e as dinâmicas de oferta, demanda e precificação.[275]

Esses modelos são fundamentais pois permitem identificar como variáveis externas, como regulação governamental e avanços tecnológicos, impactam o equilíbrio de mercado. Eles também ajudam a prever comportamentos de mercado e a projetar cenários futuros com base em mudanças de condições. Em diversos mercados de energia, os entes reguladores assumem o papel de projetistas do mercado. Isso pode envolver a reestruturação das regras que regulam as transações de mercado, bem como da infraestrutura que possibilita essas operações, com o objetivo de corrigir uma variedade de falhas de mercado. [276]No contexto do design de mercados de energia, o objetivo principal é desenvolver um arcabouço regulatório que oriente o comportamento dos participantes do mercado para alinhar-se às metas de políticas energéticas.[277] Por exemplo, em mercados emergentes, como o de hidrogênio na Brasil, um

[274] Não foi localizado qualquer trabalho brasileiro que discuta um modelo conceitual de mercado brasileiro de hidrogênio. Mesmo à nível internacional, são esparsos os trabalhos que discutem o assunto. Para aprofundamento: STEINBACH, A.; BUNK, Nikolas. The future European hydrogen market: Market design and policy recommendations to support market development and commodity trading. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 70, p. 29-38, 2024. ISSN 0360-3199. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.05.107. Acesso em: 4 dez. 2024.

[275] Fuchs, P. G.; Macedo-Soares, T. D. L. A. and Russo, G. 2009. Modelo conceitual para avaliação de práticas e estratégias climáticas: resultados de sua aplicação nos setores automotivo e de papel e celulose no Brasil. Revista de Administração Pública 43:837-874.; e BARCELLOS, J. O. J.; WAQUIL, P. D. Conceptual model to identify factors with influence in Brazilian beef consumption. Revista Brasileira de Zootecnia, 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbz/a/4psLcXxYjJ4zKdYSgYSYzKt/?format=pdf. Acesso em: 4 dez. 2024.

[276] ROTH, A. E. The art of designing markets. 2007. Disponível em: https://hbr.org/2007/10/theart-of-designing-markets. Acesso em: 5 dez. 2024.VAZQUEZ, M.; HALLACK, M. Interaction between gas and power market designs. Utilities Policy, v. 33, p. 23–33, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jup.2014.04.001. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095717871400023X. Acesso em: 5 dez. 2024; e STEINBACH, A.; BUNK, Nikolas. The future European hydrogen market: Market design and policy recommendations to support market development and commodity trading. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 70, p. 29-38, 2024. ISSN 0360-3199. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.05.107. Acesso em: 4 dez. 2024.

[277] RINGLER, P.; KELES, D.; FICHTNER, W. How to benefit from a common European electricity market design. Energy Policy, v. 101, p. 629–643, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.11.011. Acesso em: 5 dez. 2024.

modelo conceitual pode ser usado para propor recomendações de políticas públicas que fomentem o desenvolvimento e a comercialização desse vetor energético.[278]

A Lei do Hidrogênio atentou por realizar um primeiro exercício de divisão do mercado de hidrogênio em diversas etapas econômicas. Em seu art. 37, a Lei do Hidrogênio altera a Lei nº 9.478/1997 para inserir competências para a ANP regular e autorizar atividades relacionadas a produção, ao carregamento, ao processamento, ao tratamento, à importação, à exportação, à armazenagem, à estocagem, ao acondicionamento, ao transporte, à transferência, à distribuição, à revenda e à comercialização de hidrogênio, replicando a distribuição de etapas econômicas da indústria do gás natural.[279]

O mercado de gás natural brasileiro, que passou recentemente por uma reestruturação complexa, dependeu da formulação de um modelo conceitual, desenvolvido pela ANP, a partir de um exercício de participação do setor. Por meio da Consulta Prévia ANP nº 01/2020, a ANP convidou órgãos e entidades dos poderes da União, Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, agentes do mercado, consumidores, segmentos técnicos, bem como o público em geral dos diversos segmentos da sociedade civil interessados nas indústrias do petróleo, gás natural e biocombustíveis para comentar o Modelo Conceitual do Mercado de Gás na Esfera de Competência da União, buscando coletar contribuições sobre o relatório desenvolvido pela agência.[280]

Mesmo que possam servir de referência, em vista da sinergia entre gás natural e hidrogênio, não é possível meramente replicar as experiências do mercado de gás natural, já

---

[278] STEINBACH, A.; BUNK, Nikolas. The future European hydrogen market: Market design and policy recommendations to support market development and commodity trading. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 70, p. 29-38, 2024. ISSN 0360-3199. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.05.107. Acesso em: 4 dez. 2024.

[279] "*Art. 1º Esta Lei institui normas para a exploração das atividades econômicas de transporte de gás natural por meio de condutos e de importação e exportação de gás natural, de que tratam os incisos III e IV do caput do art. 177 da Constituição Federal, bem como para a exploração das atividades de escoamento, tratamento, processamento, estocagem subterrânea, acondicionamento, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural*." BRASIL. Lei n.º 14.134, de 8 de abril de 2021. Dispõe sobre as atividades de transporte de gás natural e sobre as atividades de estocagem, tratamento, processamento, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 abr. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2021/Lei/L14134.htm. Acesso em: 7 dez. 2024.

[280] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Aviso de Consulta Prévia nº 01/2020, 05/10/2020. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/consultas-e-audiencias-publicas/consulta-previa/2020/arquivos/cp-01-20/aviso_n__17_05_10_2020-original.pdf. Acesso em: 7 dez. 2024.

que não é possível ter um modelo de mercado que caiba para todos, por suas características individuais.[281]

O desenvolvimento de um modelo conceitual de mercado próprio para o mercado de hidrogênio permitiria, em um primeiro momento, uma visão geral do ente regulador para os agentes interessados, permitindo maior segurança jurídica para o setor. Esse modelo conceitual, para além de desenvolver as ideias do ente regulador para cada etapa econômica da indústria do hidrogênio, permitiria o conhecimento sobre quais infraestruturas seriam consideradas de acesso essencial, aumentando a confiabilidade do setor em soluções de infraestrutura compartilhada.

Além da necessidade de um modelo conceitual, um dos principais desafios enfrentados pela ANP – entidade recentemente incumbida de diversas atribuições relacionadas à transição energética – é o desenvolvimento de um marco regulatório capaz de coordenar as diversas iniciativas relacionadas a combustíveis alternativos e insumos energéticos sustentáveis. Entre as novas responsabilidades assumidas pela ANP, destacam-se a regulação de biocombustíveis, a indústria de hidrogênio, os mercados de combustível sustentável de aviação (SAF) e a captura e estocagem de carbono (CCS), conforme disposto na Lei nº 14.993/2024. Embora todos esses projetos de transição energética sejam fundamentais, a ausência de uma coordenação eficaz no desenvolvimento de seus respectivos marcos regulatórios pode resultar em desincentivos e na falta de isonomia regulatória, dificultando a consolidação e o crescimento sustentável desses mercados.

A falta de coordenação regulatória entre diferentes entes e iniciativas pode gerar um cenário fragmentado, dificultando a implementação de estratégias robustas para a transição energética. Cada mercado emergente, como o de hidrogênio, biocombustíveis e SAF, apresenta especificidades que demandam atenção individualizada. No entanto, a ausência de uma abordagem integrada pode levar a conflitos normativos, duplicidade de esforços e até mesmo desincentivos para investimentos em projetos estratégicos. A ANP, que já possui um histórico de atuação em mercados complexos, como o de gás natural, enfrenta o desafio de desenvolver um marco regulatório que não apenas atenda às demandas técnicas e econômicas de cada setor,

[281] VAZQUEZ, M.; HALLACK, M. Interaction between gas and power market designs. Utilities Policy, v. 33, p. 23–33, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jup.2014.04.001. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095717871400023X. Acesso em: 5 dez. 2024

mas que também esteja alinhado com as políticas energéticas nacionais e as metas climáticas globais.

Um exemplo claro dessa necessidade de coordenação é a sobreposição de competências entre diferentes agências reguladoras, como a ANEEL e a ANA, no que diz respeito ao fornecimento de energia renovável e ao uso de recursos hídricos, ambos fundamentais para a produção de hidrogênio verde. A fragmentação regulatória pode criar barreiras adicionais para investidores, que buscam clareza e segurança jurídica antes de alocar recursos em projetos de grande porte. Além disso, a falta de harmonização com padrões internacionais pode potencialmente comprometer a competitividade dos produtos brasileiros no mercado global, colocando o país em desvantagem em relação a outros players que já estabeleceram padrões mais uniformes.

Neste contexto, é crucial que a ANP e outras agências adentrem um diálogo estruturado, promovendo não apenas a coordenação normativa, mas também o alinhamento estratégico entre diferentes esferas de governo e setores da indústria. Isso permitiria um uso mais eficiente dos recursos regulatórios e daria maior previsibilidade aos agentes de mercado.

Considerando esses desafios de caráter macro, a seguir, serão analisados os principais desafios e oportunidades regulatórias mapeadas pela ANP em relação ao mercado de hidrogênio verde, bem como suas implicações para o desenvolvimento sustentável desse setor no Brasil.

Conforme citado anteriormente no presente texto, o grupo de trabalho focado em hidrogênio da ANP produziu um Relatório para Implementação do Marco Regulatório do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono no Brasil, no qual foram mapeadas as demandas regulatórias da agência para esse novo mercado. O objetivo do relatório não foi descrever os desafios regulatórios do mercado de hidrogênio, mas meramente mapear as demandas que a ANP, na qualidade de ente regulador, deveria endereçar. Mesmo assim, é interessante explanar brevemente essas demandas regulatórias.

A ANP identificou doze áreas prioritárias, que incluem desde questões institucionais, como a participação no Comitê Gestor do Programa Nacional do Hidrogênio (Coges-PNH2), até aspectos técnicos e operacionais, como gestão de riscos, certificação e especificações físico-químicas do hidrogênio a serem endereçadas em regulação setorial.

O primeiro ponto do relatório faz referência à interação da agência com outros entes, além de sua participação institucional, no Comitê Gestor do Programa Nacional do Hidrogênio,

que tem atribuições para estabelecer diretrizes para execução da Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono, participar e coordenar ações e políticas públicas de incentivo ao desenvolvimento da indústria do hidrogênio de baixa emissão de carbono; bem como expedir a orientação superior das políticas de produção e usos e aplicações do hidrogênio de baixa emissão de carbono e seus derivados.

Essa participação da ANP é fundamental para assegurar que as regulamentações e incentivos do setor reflitam as especificidades da indústria brasileira e promovam um ambiente favorável ao desenvolvimento do mercado de hidrogênio, em razão da ANP, no médio prazo, na qualidade de ente regulador, ser o principal agente público portador de dados relacionados a esse mercado.

Esse primeiro item, embora puramente burocrático, representa um desafio regulatório relevante para o mercado de hidrogênio no Brasil, que é a interação institucional dentre reguladores em um espaço regulatório compartilhado. Embora não seja um desafio de extrema dificuldade para superação, em razão do setor energético/infraestruturas complexas via de regra envolver mais de um ente regulador relacionado, ainda sim é necessário de ser previamente considerado.

Conforme citado ao longo do presente trabalho, a produção de hidrogênio verde depende de energia elétrica renovável como insumo para o processo de eletrólise, para a quebra da molécula da água (H^2O). Essa produção e fornecimento de energia elétrica renovável e uso de corpos d'água dependem diretamente de normas regulatórias da ANEEL e ANA. Para garantir a segurança jurídica de projetos de produção de Hidrogênio Verde, será necessária uma coordenação regulatória dentre os entes públicos relacionados.[282]

O segundo item citado no relatório é a gestão de riscos e acidentes desse mercado. O hidrogênio, devido às suas propriedades físicas e químicas, apresenta riscos significativos,

[282] Mesmo que a regulação conjunta seja o instrumento mais claro para promover essa coordenação, visando a maior agilidade e garantia de segurança jurídica para os projetos em desenvolvimento, seria outros poderiam ser utilizados nesse espaço regulatório compartilhado, como (i) consultas entre entes reguladores; (ii) acordos entre entes reguladores; e (iii) revisão pelo poder executivo. As consultas entre entes reguladores, sejam elas discricionárias ou mandatórias, permitiriam que decisões fossem tomadas de forma mais informada, com troca de informações e esclarecimentos entre os órgãos, mesmo que de forma informal. Já os acordos regulatórios formalizariam compromissos vinculantes, oferecendo flexibilidade para resolver disputas pontuais do setor, simplificando procedimentos e fortalecendo a cooperação. Por fim, a revisão pelo poder executivo, adaptada ao contexto brasileiro, pode envolver a mediação de conflitos ou a criação de instâncias específicas para facilitar a cooperação entre os entes, como o próprio Coges-PNH2 citado anteriormente. Para aprofundamento: FREEMAN, Jody; ROSSI, Jim. Agency Coordination in Shared Regulatory Space, Harvard Law Review, Vol 125. 2012, p. 1155

como explosividade e vazamentos. Conforme disposição do art. 10 da Lei do Hidrogênio,[283] ANP deverá regulamentar a edição de instrumentos específicos no contexto de projetos do mercado de hidrogênio, como o Estudo de Análise de Risco (EAR), o Plano de Ação de Emergência (PAE) e o Plano de Gerenciamento de Risco (PGR). O uso de ferramentas como o georreferenciamento de instalações, que está sendo avaliado pela Superintendência de Fiscalização da Produção da ANP, poderá ser um recurso adicional para monitorar e mitigar os riscos associados à produção, armazenamento e comercialização do hidrogênio.

A regulação relacionada com a gestão de riscos e acidentes é de grande relevância. Se elaborada de forma descompassada em relação a projetos de países que futuramente serão consumidores do hidrogênio verde brasileiro, pode resultar em desafios para a obtenção de financiamentos internacionais.[284]

Um terceiro ponto citado pelo relatório é a regulação setorial para cada etapa da cadeia econômica da indústria do hidrogênio, como a produção, transporte, armazenamento e comercialização de hidrogênio, demandando esforços especiais por parte da agência. A ANP precisará desenvolver atos normativos específicos que tratem dessas atividades, considerando inclusive a viabilidade técnica de misturar hidrogênio ao gás natural em gasodutos. Estudos preliminares da agência indicam que ajustes temporários nas normas vigentes do mercado de gás natural poderiam permitir essa integração.

Embora tenha sido citada de forma breve no relatório da ANP, essa integração representaria grande incentivo para o mercado de hidrogênio brasileiro. O uso de misturas de hidrogênio com gás natural tem sido cada vez mais discutido como uma estratégia para impulsionar o desenvolvimento desse mercado. A integração do hidrogênio em redes de gás natural aproveita as características complementares de ambos os combustíveis. Estudos

---

[283] "*Art. 10. Os empreendimentos e as atividades de que trata esta Lei deverão adotar medidas para gestão de risco de acidentes ou desastres.*
§ 1º São instrumentos para gestão de risco de acidentes ou desastres dos empreendimentos e das atividades:
I - EAR;
II - PGR; e
III - PAE.
§ 2º Regulamento definirá os requisitos e os critérios para elaboração dos instrumentos previstos no § 1º deste artigo, a serem exigidos pelo órgão regulador das atividades de produção e de usos e aplicações do hidrogênio e pelos órgãos responsáveis pelo licenciamento ambiental." BRASIL. Lei n.º 14.948, de 11 de julho de 2024. Institui o Marco Legal do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono e dispõe sobre medidas para o seu desenvolvimento no Brasil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 12 jul. 2024. Disponível em: <URL, se houver>. Acesso em: 6 dez. 2024.

[284] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. The future of hydrogen: Seizing today's opportunities. 2019. Disponível em: https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen. Acesso em: 5 dez. 2024.

apontam que o transporte de misturas de hidrogênio e gás natural é viável e pode ser implementado em sistemas já existentes, com ajustes mínimos na infraestrutura.[285] Além disso, a adição de hidrogênio pode aumentar a eficiência energética e reduzir as emissões de gases de efeito estufa em setores industriais e de transporte.[286] Outros países promovem essa mistura, como a França, onde é permitido 6 % de hidrogênio por volume na rede de distribuição de gás, ou na Holanda, onde permite-se 12 %,[287] buscando gerar economias de escala e aumentar a aceitação social desse vetor energético.

Um quarto ponto citado pelo relatório é a medição, especificação e certificação de intensidade de emissões, que visam garantir rastreabilidade, transparência e alinhamento com padrões internacionais. O Sistema Brasileiro de Certificação de Hidrogênio (SBCH2), criado pela Lei do Hidrogênio, terá um papel essencial na validação da origem sustentável do hidrogênio. A ANP, possivelmente como autoridade reguladora desse sistema, seria responsável por supervisionar o processo de certificação, estabelecer padrões e fiscalizar o cumprimento das normas pelas empresas certificadoras.

A certificação do hidrogênio verde não apenas fortalece a credibilidade do produto, mas também é relevante para garantir acesso a mercados consumidores internacionais, como o mercado europeu, cuja regulação é baseada em critérios rigorosos de sustentabilidade. A União Europeia (UE), por meio da Renewable Energy Directive II (RED II), estabelece que o hidrogênio verde deve cumprir requisitos como uma redução mínima de 70% nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) em relação ao hidrogênio convencional. Para atingir esse objetivo, é imperativo que a energia utilizada em sua produção seja 100% renovável e rastreável, assegurando adicionalidade no fornecimento.

Nesse contexto, é relevante que o Brasil alinhe o SBCH2 às demandas internacionais como as europeias, utilizando o sistema de padrão internacional como referência, como o

---

[285] TORRES, L. A. Impacto da adição de hidrogênio verde nas propriedades do gás natural em um sistema canalizado local. 2023. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/76793/3/2023_dis_latorres.pdf. Acesso em: 6 dez. 2024. p. 14-39.

[286] PINTO, C. da S. Introdução de misturas de GNV e hidrogênio (Hidrano) em veículos convencionais no Brasil e seus impactos econômicos, ambientais e energéticos. 2012. Disponível em: https://core.ac.uk/download/pdf/296867034.pdf. Acesso em: 6 dez. 2024. p. 45-68.

[287] GUANDALINI, G.; COLBERTALDO, P.; CAMPANARI, S. Dynamic modeling of natural gas quality within transport pipelines in presence of hydrogen injections. Applied Energy, v. 185, p. 1712–1723, 2017; e SOUZA FILHO, H. N.; SOUZA, A. B. B.; OLIVEIRA, M. L. Produção de hidrogênio (Power to Gas) e suas aplicações na matriz energética. 2020. Disponível em: https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/download/973/973. Acesso em: 6 dez. 2024.

Garantias de Origem (GoO).[288] Este sistema certifica a procedência renovável da energia usada na eletrólise, conferindo rastreabilidade ao processo produtivo e integridade ao mercado internacional. Ademais, os requisitos de "adicionalidade", também mencionados nos atos delegados da RED II, exigem que a energia elétrica renovável seja oriunda de novas fontes, promovendo investimentos em infraestrutura energética sustentável no Brasil.

Complementarmente, o programa europeu CertifHy,[289] que atua como piloto de certificação, pode servir de guia para a estruturação dos sistemas nacionais brasileiros. Esse alinhamento permitiria ao Brasil demonstrar que seu hidrogênio atende aos padrões do mercado europeu e, consequentemente, participar de iniciativas como o Fit for 55,[290] que busca descarbonizar setores-chave da economia da UE.

A adaptação do SBCH2 aos padrões europeus, supervisionada pela ANP, seria estratégica não apenas para garantir conformidade regulatória, mas também para garantir a viabilidade financeira-econômica de projetos de produção de hidrogênio verde brasileiros.

No contexto de certificação, importante citar que a Lei do Hidrogênio estabelece um limite de emissão de dióxido de carbono de 7 kgCO2eq por quilograma de hidrogênio produzido para que este seja classificado como de baixa emissão de carbono.[291] Esse limite, entretanto, é significativamente mais alto do que o estabelecido pela União Europeia, que fixa um teto de 3,4 kgCO2eq/kgH2. O limite brasileiro de 7 kgCO2eq/kgH2, quase o dobro do europeu, coloca o país em uma posição desafiadora, já que embora possa estimular o mercado doméstico no

---

[288] VELAZQUEZ ABAD, Anthony; DODDS, P. Green hydrogen characterisation initiatives: definitions, standards, guarantees of origin, and challenges. Energy Policy, v. 138, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421520300586. Acesso em: 6 dez. 2024

[289] CERTIFHY. CertifHy – Developing a European Framework for the Guarantee of Origin for Green and Low-Carbon Hydrogen: Public Report. Bruxelas: Clean Hydrogen Partnership, 2022. Disponível em: https://www.clean-hydrogen.europa.eu/document/download/58322a46-aba9-40d9-8207-c8389b9a6cbe_en?filename=220424_CertifHy-M12%20Public%20Report_EN_VF2.pdf. Acesso em: 6 dez. 2024.

[290] HYDROGEN EUROPE. A Regulatory Framework Fit for a European Hydrogen Market. Bruxelas: Hydrogen Europe, 2022. Disponível em: https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2022/06/220609-A-regulatory-framework-fit-for-a-European-h2-market-Final-2.pdf. Acesso em: 6 dez. 2024.

[291] "*Art. 4º Para os fins desta Lei e de sua regulamentação, consideram-se:* [...] *XII - hidrogênio de baixa emissão de carbono: hidrogênio combustível ou insumo industrial coletado ou obtido a partir de fontes diversas de processo de produção e que possua emissão de GEE, conforme análise do ciclo de vida, com valor inicial menor ou igual a 7 kgCO2eq/kgH2 (sete quilogramas de dióxido de carbono equivalente por quilograma de hidrogênio produzido)*;" BRASIL. Lei nº 14.948, de 25 de abril de 2024. Dispõe sobre o Marco Legal do Hidrogênio, estabelecendo diretrizes para a produção, transporte, e uso do hidrogênio, além da criação de incentivos fiscais. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 26 abr. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Lei/L14948.htm. Acesso em: 6 dez. 2024.

curto prazo, a falta de compatibilidade com os padrões internacionais pode restringir o acesso ao mercado europeu, um dos mais promissores para a exportação de hidrogênio verde.[292]

A harmonização de certificação e padrões de qualidade é essencial para atração de *offtakers* em mercados internacionais para os projetos brasileiros. *Offtakers* são empresas ou entidades que se comprometem, por meio de contratos de longo prazo, a comprar uma quantidade específica do produto principal de um projeto complexo, garantindo previsibilidade de receita para os produtores. Esses contratos são fundamentais para a viabilidade econômica dos projetos,[293] especialmente em um mercado emergente.[294] Esses contratos, que garantem a compra de longo prazo do produto, dependem de segurança regulatória e de conformidade com critérios exigidos pelos mercados consumidores.[295]

A harmonização de certificações também está ligada à redução de riscos financeiros. Alguns estudos observam que investidores e financiadores de projetos de hidrogênio verde estão cada vez mais exigindo garantias de origem para mitigar riscos e assegurar o retorno sobre os investimentos. Nesse contexto, a ausência de certificação compatível pode limitar o acesso a financiamento, um componente crítico para projetos de grande porte.[296]

Em síntese, o desenvolvimento de um mercado de hidrogênio verde no Brasil enfrenta desafios regulatórios complexos, mas que, em geral, já foram mapeados e considerados pela ANP. Fora aspectos macro citados anteriormente, que não foram considerados publicamente pelo grupo de trabalho especializado da agência, como a criação de um modelo conceitual de mercado, a Administração Pública já tem ciência dos principais desafios enfrentados para o desenvolvimento desse mercado e implementação da Lei do Hidrogênio.

---

[292] MENEZES, Marvin; GONÇALVES, Leandro; DAYRELL, Patricia; CHICRALA, Ana Clara. Marco legal do hidrogênio verde: os diversos caminhos que o Brasil pode trilhar. JOTA, 2024. Disponível em: https://www.jota.info/artigos/marco-legal-do-hidrogenio-verde-os-diversos-caminhos-que-o-brasil-pode-trilhar. Acesso em: 6 dez. 2024.

[293] VEENSTRA, Arjen; SCHROTENBOER, Albert H.; UIT HET BROEK, Michiel A. J.; URSAVAS, Evrim. Green Hydrogen Plant: Optimal control strategies for integrated hydrogen storage and power generation with wind energy. ArXiv. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122006323. Acesso em: 07 dez. 2024

[294]. CRAEN, S. Financing a World Scale Hydrogen Export Project. Oxford Repository, 2023. Disponível em: https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:bd3de91d-dfae-45e1-91c0-a818eb55a8a6. Acesso em: 7 dez. 2024

[295] Ibidem.

[296] RUHNAU, O.; SCHIELE, J. Flexible Green Hydrogen: The Effect of Relaxing Simultaneity Requirements for Project Design, Economics, and Power Sector Emissions. ScienceDirect, 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421523003488. Acesso em: 7 dez. 2024.

Tais desafios são complexos e de difícil endereçamento, mas a ANP já tem caminhos tradicionais traçados para cada um, conforme o relatório de implementação do grupo de trabalho, como será melhor demonstrado no próximo subcapítulo.

4.2. ALTERNATIVAS REGULATÓRIAS VIÁVEIS PARA A REGULAÇÃO DO HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL

Para o desenvolvimento da análise sobre a aplicabilidade do uso do Sandbox Regulatório no contexto do hidrogênio verde, é necessário considerar quais seriam as alternativas regulatórias viáveis para a superação ou endereçamento dos desafios regulatórios citados no subcapítulo 4.1.

O presente trabalho identificou três principais alternativas, considerando o levantamento de casos de uso de experimentação regulatória pela agência e as ferramentas regulatórias disponíveis para sua atuação: i) a implementação de uma regulação completa, com o desenvolvimento de marcos regulatórios próprios para cada etapa da cadeia econômica do hidrogênio verde, como à exemplo das cadeias econômicas de óleo, gás natural e biocombustíveis; ii) a implementação de projetos-piloto, ou autorizações temporárias, para o desenvolvimento de inovações tecnológicas ou atividades de desconhecimento por parte do agente regulador; e iii) a utilização de soluções individuais como resposta a gargalos regulatórios identificados.

Em primeiro lugar, a criação de uma regulação completa para o mercado de hidrogênio verde, inspirada em marcos regulatórios já consolidados em setores como petróleo, gás natural e biocombustíveis.

Considerando a já existência de projetos em implementação avançada e em operação, conforme discutido no Capítulo 2, é possível afirmar que essa abordagem potencialmente traria previsibilidade e segurança jurídica. A regulação completa seria capaz de definir normas específicas para cada etapa da cadeia econômica, desde a produção até o transporte, armazenamento, distribuição e uso final do hidrogênio, como outras indústrias reguladas pela ANP, que nunca necessitaram utilizar da metodologia de Sandbox Regulatório.

Contudo, essa alternativa exige um profundo conhecimento do mercado, das tecnologias envolvidas e das necessidades dos diferentes atores. No atual estágio de desenvolvimento do

mercado brasileiro, onde muitas incertezas ainda existem, há o risco de que uma regulação rígida e inflexível limitar a capacidade de adaptação a novas tecnologias e inovações dentro do mercado de hidrogênio.

Mesmo assim, é necessário considerar que, dependendo do interesse do ente regulador e da disponibilidade de recursos orçamentários, é possível que dentro de um mesmo semestre, diversos atos normativos sejam editados como marcos regulatórios do setor.[297] Em paralelo, a curva de aprendizagem pode ser alcançada pelo ente regulador por meio de instrumentos de participação do mercado na formulação regulatória, como consultas públicas e audiências públicas, já utilizadas há anos pela ANP para a formulação regulatória, conforme previstos na Lei 13.848/2018 (Lei das Agências Reguladoras).[298]

Por outro lado, a implementação de projetos-piloto ou autorizações temporárias representa uma alternativa ágil e flexível, adaptada às incertezas e dinâmicas de mercados emergentes. Essa abordagem permitiria que empresas e agentes reguladores experimentem tecnologias e modelos de negócios em escala reduzida e em condições controladas, gerando dados e insights valiosos para a formulação de normas futuras, já sendo uma metodologia

---

[297] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Consultas e audiências públicas. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/consultas-e-audiencias-publicas/consulta-audiencia-publica. Acesso em: 15 dez. 2024.

[298] "*Art. 9º Serão objeto de consulta pública, previamente à tomada de decisão pelo conselho diretor ou pela diretoria colegiada, as minutas e as propostas de alteração de atos normativos de interesse geral dos agentes econômicos, consumidores ou usuários dos serviços prestados. § 1º A consulta pública é o instrumento de apoio à tomada de decisão por meio do qual a sociedade é consultada previamente, por meio do envio de críticas, sugestões e contribuições por quaisquer interessados, sobre proposta de norma regulatória aplicável ao setor de atuação da agência reguladora. § 2º Ressalvada a exigência de prazo diferente em legislação específica, acordo ou tratado internacional, o período de consulta pública terá início após a publicação do respectivo despacho ou aviso de abertura no Diário Oficial da União e no sítio da agência na internet, e terá duração mínima de 45 (quarenta e cinco) dias, ressalvado caso excepcional de urgência e relevância, devidamente motivado. § 3º A agência reguladora deverá disponibilizar, na sede e no respectivo sítio na internet, quando do início da consulta pública, o relatório de AIR, os estudos, os dados e o material técnico usados como fundamento para as propostas submetidas a consulta pública, ressalvados aqueles de caráter sigiloso. § 4º As críticas e as sugestões encaminhadas pelos interessados deverão ser disponibilizadas na sede da agência e no respectivo sítio na internet em até 10 (dez) dias úteis após o término do prazo da consulta pública. § 5º O posicionamento da agência reguladora sobre as críticas ou as contribuições apresentadas no processo de consulta pública deverá ser disponibilizado na sede da agência e no respectivo sítio na internet em até 30 (trinta) dias úteis após a reunião do conselho diretor ou da diretoria colegiada para deliberação final sobre a matéria. § 6º A agência reguladora deverá estabelecer, em regimento interno, os procedimentos a serem observados nas consultas públicas. § 7º Compete ao órgão responsável no Ministério da Economia opinar, quando considerar pertinente, sobre os impactos regulatórios de minutas e propostas de alteração de atos normativos de interesse geral dos agentes econômicos, consumidores ou usuários dos serviços prestados submetidas a consulta pública pela agência reguladora. Art. 10. A agência reguladora, por decisão colegiada, poderá convocar audiência pública para formação de juízo e tomada de decisão sobre matéria considerada relevante*." BRASIL. Lei nº 13.848, de 25 de junho de 2019. Dispõe sobre a gestão, a organização, o processo decisório e o controle social das agências reguladoras. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 26 jun. 2019. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/lei/l13848.htm. Acesso em: 19 nov. 2024.

utilizada diversas vezes pela ANP, tendo essa agencia familiaridade com o instrumento, conforme discussões do Capítulo 03 do presente trabalho.

Ao permitir que inovações sejam testadas antes de uma regulamentação definitiva, ou mesmo sem a definição de uma modelagem complexa de Sandbox Regulatório, projetos-piloto reduzem o risco de erros regulatórios e de investimentos em tecnologias que ainda não foram suficientemente validadas. Além disso, eles possibilitariam um aprendizado gradual por parte dos reguladores, da mesma forma que os Sandbox Regulatórios, que podem acompanhar de perto os avanços tecnológicos e ajustar as regras conforme necessário.

No entanto, essa abordagem também apresenta desafios, como a necessidade de estabelecer limites claros para as autorizações temporárias, evitando que se tornem permanentes sem uma base regulatória adequada. Outro ponto crítico é a necessidade de garantir um ambiente competitivo, impedindo que os benefícios dos projetos-piloto se concentrem em poucos agentes, o que poderia prejudicar o desenvolvimento equilibrado do mercado.[299] Conforme desenvolvido no subcapítulo 3.5, a ANP já implementou projetos-piloto e autorizações temporárias em contextos de gargalos regulatórios e inovações tecnológicas, sendo viável a utilização dessa alternativa, sem maiores curvas de aprendizado por parte dos entes regulados. Mesmo assim, essa metodologia depende da análise do caso concreto e da interpretação casuística da possibilidade de desenvolvimento do projeto pelo regulador. Ou seja, existiria uma abertura para discricionariedade e riscos para a competição no mercado.

A terceira alternativa, baseada no uso de soluções individuais para resolver gargalos regulatórios específicos, apresenta um caráter pontual e pragmático. Essa abordagem permitiria que o regulador identificasse e atuasse diretamente sobre problemas específicos, sem a necessidade de desenvolver um marco regulatório completo ou de estruturar projetos-piloto amplos. Soluções individuais podem incluir ajustes em regulamentações existentes, criação de normativas específicas para determinadas tecnologias ou etapas da cadeia produtiva, ou ainda a concessão de licenças adaptadas para situações particulares. Essa flexibilidade é vantajosa em mercados emergentes, onde os desafios são variados e muitas vezes localizados, e pode permitir respostas rápidas a demandas urgentes do setor.

Contudo, no mesmo sentido do desenvolvimento de projetos-piloto, a adoção dessa estratégia requer um acompanhamento contínuo por parte do regulador para evitar que soluções

[299] CHIEN, Colleen V. Policy Pilots: Experimentation in the Administration of the Law. SSRN Electronic Journal, 2019. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3312696. Acesso em: 15 dez. 2024.

temporárias se tornem definitivas sem uma avaliação criteriosa. Além disso, há o risco de que o foco em soluções pontuais dificulte a criação de uma visão estratégica integrada para o desenvolvimento do mercado de hidrogênio verde no Brasil, o que poderia gerar descoordenação e até mesmo novas barreiras regulatórias no futuro, com riscos sistêmicos relacionados.

Essas três alternativas representam diferentes abordagens que o poder público pode adotar para regular um mercado emergente e complexo como o do hidrogênio verde, dispensando, em um primeiro momento, a utilização do Sandbox Regulatório. Essa escolha pode ser justificada pelos custos e riscos associados, como a possibilidade de captura regulatória devido à ausência de orçamento suficiente para desenvolver uma modelagem adequada ou implementar um sistema robusto de monitoramento e análise de dados.

O presente trabalho não busca recomendar para a agência reguladora a utilização de qualquer dessas três alternativas – em razão dos riscos mercadológicos que cada uma continua carregando. O presente trabalho buscou meramente demonstrar que existiriam alternativas razoáveis, abarcadas pelo arcabouço normativo da agência, que poderiam demonstrar melhor custo-benefício, e menores riscos, do que a implementação genérica de um Sandbox Regulatório para esse mercado, conforme intenção explicitada no relatório de implementação da Lei de Hidrogênio da ANP.

4.3. ANÁLISE DA APLICABILIDADE DO SANBOX REGULATÓRIO NO SETOR DE HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL

Por todo o desenvolvimento do trabalho, o presente subtópico busca trazer as principais conclusões da análise sobre a aplicabilidade do Sandbox Regulatório no setor de hidrogênio verde. O presente estudo concluiu que não existem óbices jurídicos expressos para a aplicação dessa metodologia para o desenvolvimento do hidrogênio verde. Mesmo assim, também concluiu que: i) não existiria motivação técnica clara para utilizar essa metodologia no contexto do mercado de hidrogênio; ii) existiriam alternativas viáveis para os desafios regulatórios impostos para o desenvolvimento desse mercado; e iii) caso a ANP decida seguir com o uso dessa metodologia na regulação do mercado de hidrogênio, existiriam medidas necessárias por parte da administração para mitigar os riscos relacionados com a utilização do Sandbox Regulatório no setor energético.

De início, cabe ressaltar que o trabalho não localizou óbices jurídicos para a utilização da metodologia de Sandbox Regulatório para o desenvolvimento ou incentivo de projetos de hidrogênio verde. Embora inicialmente essa metodologia tenha sido desenvolvida no Reino Unido para incentivar inovações tecnológicas e diminuir as barreiras regulatórias para novos entrantes com baixas capacidades financeiras (*startups* e *fintechs*), o uso foi desenvolvido para diversos outros propósitos, inclusive o incentivo de projetos de interesse da administração pública, conforme classificação do Banco Mundial (chamados de *Thematic sandboxes*).[300]

Além disso, existiria base normativa constitucional e legal que viabilizaria juridicamente a utilização da metodologia pela ANP. Conforme desenvolvido no Capítulo 2 do presente trabalho, a Constituição Federal prevê diversos dispositivos que viabilizariam a base normativa-constitucional para utilização dessa metodologia, como os dispositivos do art. 37, 174 e 218, que sob a tutela do princípio da eficiência, dotam a administração pública da função de incentivo e planejamento para inovação. Além disso, a Lei Complementar n° 182/2021, em seu art. 11, dispõe de uma autorização genérica para a utilização do Sandbox Regulatório pelos entes reguladores, para a suspensão temporária de regras regulatórias de suas competências setoriais. Mais recentemente, a Lei do Hidrogênio ainda ratificou essa disposição especificamente para o mercado do hidrogênio, expressando que os entes reguladores poderiam utilizar de Sandbox Regulatório para a promoção de regras regulatórias do setor, em seu art. 12.[301]

Mesmo assim, o art. 12 não impõe para a ANP a utilização obrigatória dessa metodologia no contexto de formulação das regras regulatórias do mercado de hidrogênio. O artigo meramente ratifica a autorização já garantida pela Lei Complementar n° 182/2021. Ou seja, na ausência de um Decreto regulamentador da Lei do Hidrogênio, a decisão pelo uso e modelagem para a ANP, em sua discricionariedade técnica.

---

[300] WORLD BANK. *Global Experiences from Regulatory Sandboxes*. Fintech Note, n. 8, 2020. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/b8c4ba7c-d327-5d3e-a0e9-87c6815463b4/content>. Acesso em: 20 dez. 2023, p. 20.

[301] "*Art. 12. O arranjo denominado sandbox regulatório, de que trata o inciso II do caput do art. 2º da Lei Complementar nº 182, de 1º de junho de 2021, poderá ser utilizado para a elaboração de normativos relacionados às atividades previstas nesta Lei. Parágrafo único. O órgão regulador de que trata o art. 11 desta Lei poderá adotar soluções individuais que visem ao atendimento do disposto nesta Lei, respeitado seu rito decisório, até que seja editada regulação específica*." BRASIL. Lei n.º 14.948, de 18 de outubro de 2024. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 out. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Lei/L14948.htm. Acesso em: 18 nov. 2024.

Nesse contexto, o presente trabalho não identificou aplicabilidade para a metodologia de Sandbox Regulatória no contexto do mercado de hidrogênio de hidrogênio verde, pelas razões desenvolvidas abaixo.

Em um primeiro ponto, não foram identificados pelo trabalho motivações claras, de ordem técnica, da administração pública para uso de uma metodologia de experimentalismo regulatório no contexto do hidrogênio verde. O presente trabalho entende que existiria meramente uma vontade política para a aplicação da metodologia de Sandbox Regulatório.

Essa vontade política é expressamente disposta no art. 12 da Lei do Hidrogênio, que cita que o arranjo denominado Sandbox Regulatório poderia ser utilizado para a elaboração de normativos relacionados às atividades previstas na Lei. As atividades previstas na Lei do Hidrogênio estão dispostas no art. 11 e no art. 14 do referido ato normativo, que são a produção, carregamento, processamento, tratamento, importação, exportação, armazenagem, estocagem, acondicionamento, transporte, transferência, revenda e comercialização de hidrogênio, seus derivados (amônia e metanol) e carreadores (forma física e líquida do hidrogênio para propósitos de movimentação e armazenamento).

Todas essas atividades citadas já são de conhecimento da ANP, por serem atividades econômicas da cadeia do petróleo[302] ou do gás natural.[303] Ou seja, embora seja outro vetor energético, a configuração da cadeia econômica não é de desconhecimento da ANP. Inclusive, a ANP já recebeu atribuições para regulação de novos vetores energéticos em diversas oportunidades, sem ter recorrido a utilização de qualquer tipo de experimentalismo regulatório,

---

[302] "*Art. 6º [...] XIX - Indústria do Petróleo: conjunto de atividades econômicas relacionadas com a exploração, desenvolvimento, produção, refino, processamento, transporte, importação e exportação de petróleo, gás natural e outros hidrocarbonetos fluidos e seus derivados.*" BRASIL. Lei n.º 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 ago. 1997. Art. 6º, XIX. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm. Acesso em: 18 nov. 2024.

[303] "*Art. 3º, XXVIII - Indústria do Gás Natural: conjunto de atividades econômicas relacionadas com exploração, desenvolvimento, produção, importação, exportação, escoamento, processamento, tratamento, transporte, carregamento, estocagem subterrânea, acondicionamento, liquefação, regaseificação, distribuição e comercialização de gás natural*." BRASIL. Lei n.º 14.134, de 8 de abril de 2021. Dispõe sobre as atividades de transporte de gás natural e estabelece normas para exploração das atividades econômicas de gás natural no Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 abr. 2021. Art. 3º, XXVIII. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14134.htm. Acesso em: 18 nov. 2024.

como pela inclusão das competências da indústria de biocombustíveis pela Lei n° 11.097/2005[304] e pela Lei n° 12.490/2011[305]

Recentemente inclusive a ANP, por meio da Lei n° 14.993/2024, recebeu do legislador competências para regular combustíveis sintéticos, no âmbito das discussões do Programa Combustível do Futuro. Mesmo assim, nenhuma disposição expressa sobre a utilização do Sandbox Regulatório foi inserida na lei citada. Não há nenhum indício que a ANP planeje utilizar dessa metodologia regulatória para a regulação dessa nova competência.

Além disso, conforme discutido ao longo do presente trabalho, Sandbox Regulatório já é utilizado por outros órgãos reguladores desde 2020, no contexto do mercado financeiro, meramente utilizando dispositivos da constituição e dispositivos da Lei 13.874/2019. Posteriormente, a Lei Complementar n° 182/2021, em seu art. 11, autoriza expressamente que "*Os órgãos e as entidades da administração pública com competência de regulamentação setorial poderão, individualmente ou em colaboração, no âmbito de programas de ambiente regulatório experimental (sandbox regulatório), afastar a incidência de normas sob sua competência em relação à entidade regulada ou aos grupos de entidades reguladas*."

Ou seja, a inserção do dispositivo do art. 12 da Lei do Hidrogênio não foi motivado para garantir segurança jurídica na utilização da metodologia de Sandbox Regulatório ou mesmo técnica legislativa adotada pelo legislador para a atribuição de novas competências regulatórias no setor energético, mas meramente uma sugestão do legislador para que a agência utilize da metodologia de experimentalismo regulatório no contexto do mercado de hidrogênio.

Não foi localizado pelo presente trabalho qualquer justificativa para a inserção da redação do art. 12 da Lei do Hidrogênio. Foram analisados os documentos que compuseram o processo legislativo do Projeto de Lei n° 3208/2023, mas nenhuma manifestação sobre Sandbox Regulatório foi localizada.

---

[304] "*Art. 7° Fica instituída a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíves - ANP, entidade integrante da Administração Federal Indireta, submetida ao regime autárquico especial, como órgão regulador da indústria do petróleo, gás natural, seus derivados e biocombustíveis, vinculada ao Ministério de Minas e Energia*." BRASIL. Lei n.º 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Altera dispositivos das Leis n.º 9.478, de 6 de agosto de 1997, n.º 9.847, de 26 de outubro de 1999, e n.º 10.636, de 30 de dezembro de 2002, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 jan. 2005. Art. 7º. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/L11097.htm. Acesso em: 18 nov. 2024.

[305] "*Art. 3°, XXVIII - Indústria de Biocombustível: conjunto de atividades econômicas relacionadas com produção, importação, exportação, transferência, transporte, armazenagem, comercialização, distribuição, avaliação de conformidade e certificação de qualidade de biocombustíveis*;" BRASIL. Lei n.º 12.490, de 16 de setembro de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 set. 2011. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/L12490.htm. Acesso em: 18 nov. 2024.

É válido ressaltar que, até o momento, não há qualquer indicação ou sugestão explícita da necessidade de experimentalismo regulatório na formulação dos documentos do Programa Nacional do Hidrogênio pelo governo federal ou nos relatórios técnicos elaborados pela EPE. Essa ausência reforça a ideia de que o uso de instrumentos como o Sandbox Regulatório pode não ser essencial em setores onde as atividades já estão em fase de desenvolvimento ou consolidação.

Um exemplo dessa perspectiva é apresentado no *Relatório de Implementação do Marco Regulatório de CCS*, em que se argumenta que o Sandbox não seria adequado para o contexto da captura, uso e armazenamento de carbono (CCUS). Segundo o relatório, ainda que a ANP possuísse respaldo legal para adotar essa estratégia regulatória, o uso de Sandbox demandaria a publicação de uma lei específica, além da necessidade de um edital detalhado com regras e condições para o desenvolvimento, monitoramento e avaliação das atividades contempladas. Considerando que os projetos de CCUS já estão em curso no Brasil, o relatório conclui que o Sandbox se mostraria mais apropriado para atividades emergentes e inovadoras que ainda carecem de estrutura regulatória inicial e que demandam estímulos para atração de interessados e desenvolvimento de novas iniciativas. [306]

Este raciocínio, ao ser aplicado ao mercado de hidrogênio, pode indicar que estratégias regulatórias diferentes, como ajustes normativos direcionados ou coordenação interinstitucional, podem ser mais eficazes para atender às demandas específicas de um mercado já em fase de implementação, como o de hidrogênio verde.

Em paralelo, mesmo na ausência de qualquer motivação transparente de ordem técnica para o uso dessa metodologia, a ANP já teria iniciado movimentos internos para viabilizar a utilização do Sandbox Regulatório, por suposta direção da Lei do Hidrogênio.

Conforme citado no capítulo segundo do presente trabalho, o Grupo de Trabalho de Hidrogênio, instituído internamente pela agência por meio da Portaria ANP 148/2022, elaborou o documento "Implementação do Marco Regulatório do Hidrogênio de Baixa Emissão de

---

[306] "*Para este estudo, entende-se que o sandbox não seria a melhor estratégia regulatória, visto que demandaria a publicação de uma lei específica que autorizasse a ANP a usar este tipo de regulação. Mesmo que esta etapa fosse cumprida, ainda seria necessário que a ANP publicasse um edital prevendo as regras e condições para o desenvolvimento da atividade, bem como as regras para seu monitoramento e avaliação. Dessa forma, o sandbox é apropriado para estimular, fomentar, o desenvolvimento de uma nova atividade, convocando interessados para iniciar projetos. No caso da atividade de CCUS, os projetos já estão em desenvolvimento no Brasil, demandando um outro tipo de resposta regulatória.*" AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Relatório sobre a implementação do marco regulatório de CCUS no país. Rio de Janeiro: ANP, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/relatorioccusstm24.04.09.pdf. Acesso em: 7 dez. 2024.

Carbono" para orientar as ações regulatórias necessárias a serem executadas pela agência para a aplicação da Lei do Hidrogênio. Seu objetivo foi detalhar o papel da ANP na regulação desse novo setor energético, abordando aspectos operacionais, tecnológicos e regulatórios. Dentre as medidas recomendadas, o documento propõe a criação de um Sandbox Regulatório para testar e adaptar regulamentações experimentais no setor de hidrogênio, possibilitando inovações regulatórias sob um ambiente controlado, sugerindo a necessidade de revisar o regimento interno da ANP de modo a reconhecer a regulação por Sandbox Regulatório ou projeto piloto como instrumento adequado ao tratamento dos projetos relacionados às atividades relacionadas à indústria do hidrogênio.

Inclusive, é citado no documento que "*É preciso reforçar ainda que [...] o sandbox regulatório e pilotos [...] necessitam ser utilizados para absorver os primeiros projetos, conforme recomendação do próprio marco legal em seu art. 12*."[307] Ou seja, o grupo de trabalho interno da agência considera que a Lei do Hidrogênio sugeriu a utilização do experimentalismo regulatório e consideram necessário para a absorção dos primeiros projetos, não tendo sido apresentada qualquer razão para essa necessidade.

O relatório citado não apresentou nenhuma ponderação sobre o contexto de uso ou modelagem desse Sandbox Regulatório. Conforme citado anteriormente no Capítulo 3 do presente trabalho, outros entes reguladores, como a ANTT, considerando os riscos na implementação de uma metodologia de experimentalismo regulatório, implementaram uma análise de impacto regulatório, para analisar de forma objetiva quais seriam as alternativas da agência e se os benefícios superariam os riscos de utilização da metodologia.[308]

Mesmo assim, esse não aparenta ser o caso da ANP. Não foram localizados por esse trabalho qualquer indício de que a agência estaria desenvolvendo algum tipo de análise custo-benefício ou análise de impacto regulatório para a implementação do Sandbox Regulatório. Para além das manifestações já citadas no âmbito do documento "Implementação do Marco

---

[307] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Implementação do Marco Regulatório do Hidrogênio. Brasília: ANP, p. 09, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/relatorios/arquivos/implementacaomarcoregulatoriohidrogenio.pdf. Acesso em: 18 nov. 2024.

[308] "*Um desafio constante para reguladores de todos os tipos é a necessidade de tomar decisões em contextos de incerteza*. [...] *Esta seção apresenta estratégia de implementação, monitoramento e fiscalização, considerando os possíveis impactos e riscos da alternativa escolhida*." AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). Análise de Impacto Regulatório (AIR): Sandbox Regulatório - Pós Audiência Pública. Brasília: ANTT, 2022. Disponível em: https://portal.antt.gov.br/documents/3116054/3118105/AIR+-+Sandbox+p%C3%B3s+AP.pdf/946f8fe2-3271-08a0-3e12-cb91da24ca75?t=1669149853010. Acesso em: 18 nov. 2024.

Regulatório do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono", que expressam que o uso do Sandbox Regulatório é adequado e que estariam sendo promovidas alterações no regimento interno para viabilizar a utilização dessa metodologia, não foram localizadas outras manifestações.

Por meio do Sistema de Acesso à Informação do FalaBR, o presente trabalho questionou a agência: i) Se a ANP pretende utilizar esse arranjo para a regulação de hidrogênio; ii) Quais seriam os motivos determinantes que a ANP entende justificarem tecnicamente a utilização de Sandbox regulatório no contexto do mercado de hidrogênio nacional; iii) Se teriam sido desenvolvidos estudos, notas técnicas ou qualquer documentos que apresentem tais motivos determinantes e justificativas pela ANP para utilizar o Sandbox Regulatório no contexto do hidrogênio; iv) Se a ANP tem conhecimento de estudos oficiais da administração pública federal, como estudos da EPE, que demonstrassem a necessidade do uso de Sandbox Regulatório nesse contexto; e v) Se a ANP teria produzido, ou estaria produzindo, algum tipo de Análise de Impactos Regulatórios relacionada com a utilização de Sandbox Regulatório no contexto da produção de hidrogênio.[309]

A resposta obtida pelo presente estudo, emitida pela Superintendência de Governança e Estratégia – SGE/ANP, foi que:

> *"A ANP e os órgãos que irão promover a regulação do hidrogênio de baixa emissão de carbono poderão promover a utilização das ferramentas de regulação experimental, incluindo o sandbox regulatório, de acordo com Lei n° 14948/2024, em seu artigo 12. A ANP não tem conhecimento de estudos que embasem o uso preferencial de determinada ferramenta de regulação experimental, como por exemplo o sandbox regulatório, e trabalha no sentido de promover uma regulação ágil e efetiva inde pendentemente da solução adotada. Conforme descrito no Paragráfo Único do art 12, a ANP poderá adotar também "soluções individuais" considerando que a regulamentação completa do setor de hidrogênio de baixa emissão de carbono, incluindo aí a participação social e os estudos a serem desenvolvidos podem levar tempo*

[309] Questionamentos realizados no âmbito do Processo Administrativo FalaBR n° 48003.007853/2024-54.

> *considerável. Portanto não necessariamente o "sandbox regulatório" seria a ferramenta a ser adotada."*[310]

Além disso, informou a agência que "*tem um curso de ação que visa normatizar internamente o uso do sandbox como ferramenta regulatória institucional*." É importante ressaltar que o presente estudo entende que a ANP não seria de fato obrigada a desenvolver uma análise de impacto regulatório para a implementação do Sandbox Regulatório no contexto do setor do hidrogênio, já que essa implementação atualmente não implica na invalidade dos atos normativos secundários das agências reguladoras, conforme art. 21 do Decreto 10.411/2020.[311] Mesmo assim, o relatório de impacto regulatório poderia servir como documento técnico, para apresentar de forma transparente as motivações e intenções da administração com o uso dessa metodologia experimentalista.

Em segundo lugar, embora o presente trabalho reconheça a existência de desafios regulatórios relevantes conectados ao desenvolvimento do mercado de hidrogênio verde no Brasil, há alternativas regulatórias de maior aplicabilidade, já utilizadas pela ANP em diferentes contextos, que poderiam mitigar os riscos associados ao uso do Sandbox Regulatório no setor energético, especialmente em cenários onde não há a presença de inovações tecnológicas genuínas e disruptivas. Conforme discutido no subcapítulo 4.1, os desafios regulatórios identificados incluem a ausência de um modelo conceitual de mercado para o hidrogênio, a necessidade de coordenação interinstitucional entre diferentes entes reguladores, como a ANEEL e a ANA, para tratar questões relacionadas ao fornecimento de energia renovável e ao uso de recursos hídricos, a harmonização de padrões de certificação para garantir competitividade em mercados internacionais, como o europeu, e a regulação específica para cada etapa da cadeia econômica da indústria do hidrogênio, incluindo produção, transporte, armazenamento e comercialização.

---

[310] Ibidem.

[311] "*Art. 21. A inobservância ao disposto neste Decreto não constitui escusa válida para o descumprimento da norma editada e nem acarreta a invalidade da norma editada.*" BRASIL. Decreto n.º 10.441, de 22 de julho de 2020. Regulamenta o marco legal das startups e institui o programa de ambiente regulatório experimental. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 jul. 2020. Art. 21. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10441.htm. Acesso em: 18 nov. 2024; e JOTA. A análise de impacto regulatório deveria ser obrigatória?. *JOTA*, 2024. Disponível em: https://www.jota.info/opiniao-e-analise/colunas/publicistas/a-analise-de-impacto-regulatorio-deveria-ser-obrigatoria. Acesso em: 18 nov. 2024; e JOTA. A regulamentação da análise de impacto regulatório na administração federal. *JOTA*, 2024. Disponível em: https://www.jota.info/opiniao-e-analise/colunas/reg/a-regulamentacao-da-analise-de-impacto-regulatorio-na-administracao-federal. Acesso em: 18 nov. 2024.

Conforme discutido no subcapítulo 4.2, caso a ANP entendesse que seria necessária uma resolução célere dos desafios regulatórios apresentados utilizando de experimentalismo-regulatório, as metodologias de projeto-piloto, autorizações temporárias ou até mesmo soluções individuais poderiam ser utilizadas pela agência, que poderiam contar com instrumentos de regulação participativa, como audiências e consultas públicas.

Diferente de um Sandbox Regulatório, que, embora tenha o objetivo de garantir um ambiente de testes flexível, é de certa forma estanque, pela necessidade de criação de um regramento para habilitação, seleção, efeitos/incentivos, metodologia de acompanhamento e planos de saída do programa, essas metodologias alternativas seriam utilizadas pela agência na presença de um desafio regulatório concreto. Seguindo o ciclo metodológico da utilização do experimentalismo administrativo proposto por Cesar Henrique Ferreira Lima, seria possível que a administração pública utilizasse essas metodologias quando de fato um problema aparecesse no mercado de hidrogênio verde.[312]

Essas alternativas seriam de menor custo para a ANP, que passa por uma sobrecarga de competências regulatórias, conforme desenvolvido no subcapítulo 3.2. Esses instrumentos, por serem utilizados de forma casuística e já serem prática recorrente de utilização pela agência representariam o menor uso de recursos humanos e uma menor curva de aprendizagem dos servidores envolvidos.

Além disso, pelo uso dessas alternativas ter de ser motivada caso a caso, a possibilidade de desordem regulatória e riscos sistêmicos para o espaço regulatório da ANP seria mitigada. Cada utilização necessitaria de um embasamento e análise por parte da procuradoria especializada da agência, que poderia garantir a integração da decisão com o sistema regulatório ANP.

É válido citar que, ao utilizar metodologias regulatórias já presentes no histórico de processos da ANP, existem ganhos quanto a garantia de maior transparência e controle dos atos da agência pela sociedade civil, diminuindo riscos de captura por parte de agentes de mercado.

[312] Conforme citado no subcapítulo 3.1: "(i) a constatação de um problema público; (ii) a elaboração de alternativas possíveis para a solução do(s) problema(s) público(s); (iii) a definição do conteúdo da solução experimental para solucionar o(s) problema(s) público(s); (iv) o processo de seleção/admissão de participantes no âmbito da(s) solução(ões) experimental(is); (v) a implementação controlada da solução experimental e o seu monitoramento; e o (vi) encerramento da solução experimental e eventual disseminação/ampliação dos contornos de seus contornos, à luz dos resultados encontrados"

O mercado concorrente teria a oportunidade de acompanhar a utilização dessas metodologias caso a caso pela agência, mitigando riscos concorrenciais e de desigualdade regulatória.

Por fim, em terceiro lugar, caso a ANP decida perseguir o uso do Sandbox Regulatório no contexto do mercado de hidrogênio de forma indiscriminada, incluindo a produção de hidrogênio verde, é necessário que a agência se atenha a aspectos específicos do contexto brasileiro e do setor energético para a modelagem, para mitigar os riscos do uso da metodologia.

Conforme desenvolvido no Capítulo 2, o mercado de hidrogênio verde não só já existe, por já estarem em operação dois projetos diferentes, mas está em franca expansão, sem a existência de qualquer medida de incentivo regulatório. Ao menos 40 empresas já teriam celebrado memorandos de entendimento para o desenvolvimento de projetos de produção de hidrogênio verde no Brasil, alguns já estando em fase de implementação.

Embora a flexibilidade do Sandbox Regulatório aparente incentivar o desenvolvimento desses projetos em um primeiro momento, se a modelagem não for desenvolvida considerando esse contexto, projetos podem ser abandonados por uma insegurança jurídica criada.

Nesse sentido, os riscos e pontos críticos para o setor energético devem ser considerados, conforme desenvolvidos no Capítulo 3 do presente trabalho. O procedimento de habilitação, os critérios seleção de participantes, o espaço de tempo entre ciclos de Sandbox e o tempo de duração das suspensões temporárias deve considerar a possível criação de uma desigualdade de condições dentre os agentes do setor.

Se critérios forem implementados excluindo a participação de empresas porte financeiro superior, é possível que a desigualdade regulatória cause desincentivos para a continuidade ou expansão dos projetos atualmente em desenvolvimento. Em paralelo, a inclusão desses agentes de porte econômico elevado pode causar o desincentivo para verdadeiras inovações tecnológicas no setor por novos entrantes de menor porte, que podem interpretar o espaço de tempo entre ciclos regulatórios com uma barreira de entrada intransponível.

É necessário na modelagem também considerar a aplicação da suspensão de regras/incentivos regulatórios e as regras de monitoramento, de forma a não criar riscos sistêmicos e possível captura dos agentes reguladores pelos entes participantes.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar a aplicabilidade do Sandbox Regulatório no contexto do mercado de hidrogênio verde no Brasil, questionando sua viabilidade técnica e jurídica e avaliando se essa ferramenta se adequa à estrutura regulatória e aos desafios do setor. Para tanto, foram discutidos aspectos teóricos, práticos e regulatórios que envolvem a transição energética e o papel do hidrogênio verde como vetor energético promissor.

Inicialmente, foi contextualizado o mercado de hidrogênio verde no Brasil, destacando sua relevância estratégica na transição energética global e sua atratividade para mercados internacionais. Os principais hubs de produção foram mapeados, evidenciando investimentos significativos e a liderança de grandes empresas multinacionais. Esse panorama reforçou que o hidrogênio verde, embora ainda emergente em termos de regulação, já está consolidado como um mercado de interesse econômico, com projetos robustos voltados predominantemente para exportação.

Em relação ao Sandbox Regulatório, foi realizado um exame minucioso de seu conceito, seus usos em outros contextos regulatórios e sua pertinência ao mercado de hidrogênio verde no Brasil. Embora essa ferramenta seja frequentemente associada à promoção de inovações tecnológicas em setores emergentes, constatou-se que o mercado de hidrogênio no Brasil apresenta características distintas. Ele é liderado por grandes empresas globais e possui projetos já consolidados, não configurando um ambiente que dependa de flexibilizações regulatórias para se desenvolver.

Dessa forma, os riscos potenciais da adoção do Sandbox Regulatório — como falhas de mercado e concentração de poder econômico — superariam seus benefícios, especialmente em um setor que exige estabilidade e previsibilidade normativa.

O trabalho destacou que os principais desafios regulatórios do setor — como a necessidade de coordenação entre agências reguladoras, a criação de um modelo conceitual de mercado e a harmonização de certificações com padrões internacionais — podem ser melhor enfrentados por meio de mecanismos regulatórios tradicionais e já experimentados pela ANP. Consultas públicas, ajustes normativos e regulamentações específicas para cada etapa da cadeia econômica do hidrogênio mostraram-se mais adequados para promover segurança jurídica e atratividade ao mercado.

Com base na análise desenvolvida, conclui-se que o Sandbox Regulatório não é a estratégia mais adequada para enfrentar os desafios do mercado de hidrogênio verde no Brasil. Embora seja reconhecido como uma ferramenta eficaz para estimular inovações em setores tecnologicamente disruptivos, sua aplicação ao mercado de hidrogênio apresenta limitações significativas, uma vez que este já possui projetos em estágio avançado de desenvolvimento, liderados por grandes players globais, e não enfrenta um contexto de incerteza tecnológica que justifique flexibilizações experimentais de forma genérica.

O uso do Sandbox Regulatório no setor poderia trazer riscos desnecessários, como a criação de barreiras de entrada para novos agentes, concentração de poder econômico em grandes empresas e falta de isonomia regulatória entre os participantes do mercado. Além disso, o processo burocrático e jurídico para implementar um Sandbox, incluindo a necessidade de um edital de regras para qualificação e participação, além de seumonitoramento contínuo, não se justifica em um mercado onde os desafios regulatórios são melhor resolvidos por instrumentos tradicionais já consagrados pela ANP, como consultas públicas, ajustes normativos direcionados, regulamentações específicas para cada etapa econômica da cadeia do hidrogênio ou mesmo outras metodologias de experimentalismo, como projetos piloto ou soluções individuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRUCIO, Fernando Luiz. O impacto do modelo gerencial na Administração Pública. Disponível em: <http://antigo.enap.gov.br/downloads/ec43ea4fAbrciocad%2010.pdf>. Acesso em: abril de 2024

AGNOLUCCI, Paolo. Use of economic instruments in the German renewable electricity policy. Energy Policy, 34, 2006. P. 3538–3548. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421505002181.

ALIZAMIR, SAED, et al. "Efficient Feed-In-Tariff Policies for Renewable Energy Technologies." Operations Research, vol. 64, no. 1, 2016, pp. 52–66. Disponível em:

BALDWIN, Robert; CAVE, Martin; LODGE, Martin. Introduction & Fundamentals. In: Understanding Regulation. Theory, Strategy, and Practice. 2a ed. Oxford: Oxford University Press, 2012

BARROS, J. D'A. Sobre a noção de Paradigma e seu uso nas ciências humanas. Cadernos de Pesquisa Interdisciplinar em Ciências Humanas, Florianópolis, v.11, n.98, p. 426-444, jan/ jun. 2010

BECKER, Gary. 1983. "A Theory of Competition Among Pressure Groups for Political Influence." Quarterly Journal of Economics 98:3 (Aug.): 371-400

BELL, K.; GILL, S. Delivering a highly distributed electricity system: Technical, regulatory and policy challenges. Energy Policy, v. 113, p. 765-777, 2018.

BOBBIO, Noberto; MATTEUCCI, Nicola; PASQUINO, Gianfresco. Dicionário de política. Brasília: UnB, 2004

BOLTON, Ronan; FOXON, T. Infrastructure transformation as a socio-technical process: Implications for the governance of energy distribution networks in the UK. Technological Forecasting and Social Change, v. 90, p. 538-550, 2015.

BORGES, R.; FREITAS, P. Sandbox regulatório no Brasil: Inovação financeira e desafios regulatórios. Revista de Direito e Economia, v. 12, n. 1, p. 54-75, 2021.

BRADLEY, Keith. The Design of Agency Interactions. Columbia Law Review, Vol. 111, No. 4, maio de 2011

BRASIL, Programa Nacional do Hidrogênio, Proposta de Diretrizes. 2021. Acesso em: 10/12/2023, disponível em:

BRESSER PEREIRA, Luiz Carlos. Da administração pública burocrática à gerencial. Revista do Serviço Público, Volume 120, 1996

BREYER, Stephen G. Regulation and its reform. Cambridge: Harvard University Press. 1982

BUZBEE, William W. The Regulatory Fragmentation Continuum, Westway, and the Challenges of RegionalGrowth. Emory University School of Law. Public Law & Legal Theory Research Paper Series. Research Paper No. 05-31. 2005

CLOSSET e MELONI, Mathilde e Massimo. Investment Policy Monitor, Issue No 26, Investment Policies For The Energy Transition Incentives And Disincentives. UNCTAD, United Nations. 2023. Acesso em 10/12/2023, disponível em: <>

COASE, Ronald H. The problem of social cost. The Journal of Law and Economics, v. III. 1960

COELHO, Fábio Ulhôa. Reforma do Estado e direito concorrencial. In: SUNDFELD, Carlos Ari. (Org.). Direito administrativo econômico. São Paulo: Malheiros, 2000

CONDÉ, Mauro Lúcio Leitão; PENNA-FORTE, Marcelo do Amaral (Org.). Thomas Kuhn: A Estrutura das Revoluções Científicas [50 anos]. Belo Horizonte: Fino Traço, 2013.

COOTER, Robert; ULEN, Thomas. Direito & Economia. Porto Alegre. Brokman Companhia Editora. 5ª ed., 2010

CORDONNIER e SAYGIN, Joseph e Deger. Green hydrogen opportunities for emerging and developing economies: Identifying success factors for market development and building enabling conditions, OECD Environment Working Papers, N°. 205, OECD Publishing. Paris. 2022. Acesso em: 10/12/2023, disponível em: ;

CORREIA, Raphael Barboza. Equilíbrio Do espaço regulatório compartilhado No Setor De Gás Natural Brasileiro. 2021. Dissertação para obtenção de grau de mestre (Mestrado) - FGV, [S. l.], 2021

Congresso Nacional, Brasil. Justificativa do PL 2308/2023 e Parecer RDF n. 1 PLEN (Redação Final), enviada ao Senado Federal em remessa do dia 01/12/2023, por meio do Of. nº 271/2023/PS-GSE. Acesso em 10/12/2023, disponível em: <>

Copenhagen Economics, Study on reduced VAT applied to goods and services in the Member States of the European Union - Final report, Copenhagen, 2007, Disponível em: http://ec.europa.eu/ taxation_customs/resources/documents/taxation/vat/how_vat_works/ rates/study_reduced_vat.pdf.

CÉSAR, Aldara da Silva; VERAS, Tatiane da Silva; MOZER, Thiago Simonato; DOS SANTOS, Danielle da Costa Rubim Messeder; CONEJERO, Marco Antonio. Hydrogen productive chain in Brazil: An analysis of the competitiveness' drivers. Journal of Cleaner Production, Vol 207, 2019.

DE SISTERNES e JACKSON, Fernando e Christopher, Green Hydrogen in Developing Countries, World Bank Group, Washington, D.C. 2020. Acesso em: 10/12/2023, disponível em:

DEL RIO, Pablo; e KIEFER, Christoph P. Which policy instruments promote innovation in renewable electricity technologies? A critical review of the literature with a focus on auctions. Energy Research & Social Science, Volume 89, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102501.

DELARDAS, O.; GIANNOS, P. Towards Energy Transition: Use of Blockchain in Renewable Certificates to Support Sustainability Commitments. Sustainability 2023, 15, 258. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su15010258

DRECHSLER, Martin; MEYERHOFF, Jürgen; OHL, Cornelia. The effect of feed-in tariffs on the production cost and the landscape externalities of wind power generation in West Saxony, Germany.Energy Policy, Volume 48, 2012, P. 730-736. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.06.008.

ENEI, José Virgilio Lopes. Project finance: financiamento com foco em empreendimentos. São Paulo: Saraiva, 2007

Empresa de Pesquisa Energética, MME, Brasil. RenovaBio: Biocombustíveis 2030. EPE-DPG-SGB-Bios-NT-04-2017-r0. P. 10. Disponível em:

FALCÃO, Joaquim; GUERRA, Sérgio; ALMEIDA, Rafael (org.). Administração pública: gerencial. Colaboração de Alexandre Santos de, 1969- Aragão. Rio de Janeiro: FGV, 2013. 326 p. (Direito do Estado e da Regulação). ISBN 978-85-225-1298-0. Disponível em: https://biblioteca.aneel.gov.br/acervo/detalhe/160088. Acesso em: 3 mai. 2024

FARIAS, Sara Jane Leite de. Evolução histórica dos princípios econômicos da Constituição. In: SOUTO, Marcos Juruena Villela; MARSHALL, Carla C. (Org.). Direito empresarial público. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2002

FONSECA, Roberto Giannetti da. A era do hidrogênio verde no século XXI. Inovação & Desenvolvimento: A Revista da FACEPE, Recife, v. 1, n. 8, p. 40-45, 2022

FREEMAN, Jody; ROSSI, Jim. Agency Coordination in Shared Regulatory Space, Harvard Law Review, Vol 125. 2012

Feenstra, Robert C. 1992. "How Costly is Protectionism?" Journal of Economic Perspectives 6 (Summer): 159–78

GHINS, Michel. Thomas Kuhn on the existence of the world. International Studies In The Philosophy of Science, v. 17, n. 3, p. 265-279, out. 2003

GRANDY, Richard E. Kuhn's world changes. In: NICKLES, Thomas (ed.). Thomas Kuhn. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

GUERRA, Sérgio; DISCRICIONARIEDADE, REGULAÇÃO E REFLEXIVIDADE. Editora Fórum, 7ª ed., 2023.

Gomez-Ibanez, Jose A., and John R. Meyer. 1993. Going Private: The International Experience with Transport Privatization. Brookings

HAFNER, S.; JAMES, O.; Jones, A. A Scoping Review of Barriers to Investment in Climate Change Solutions. Sustainability 2019, 11, 3201. Disponível em:

HAŠČIČ, I., et al. Public Interventions and Private Climate Finance Flows: Empirical Evidence from Renewable Energy Financing. OECD Environment Working Papers, No. 80, OECD Publishing, Paris, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1787/5js6b1r9lfd4-en.

HOFFMAN, Scott L. The law and business of international project finance 3rd. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY -IEA. The Future of Hydrogen. IEA, jun. 2019. Disponível em: https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen. Acesso em: abril 2024.

KEMP, R., SCHOT, J., & HOOGMA, R. Regime Shifts to Sustainability Through Processes of Niche Formation: The Approach of Strategic Niche Management, Technology Analysis and Strategic Management, 10(2), 1998.

KUHN, T. A Estrutura das revoluções científicas. São Paulo: Perspectiva, 2011.

LANDAU, Martin. Redundancy, rationality and the problem of duplication and overlap. Public Administration Review, Vol. 29, No. 4 (Jul. - Aug., 1969).

MARISAN, Jason. Duplicative Delegations. Administrative Law Review. 2011.

MIRRLEES, James. Tax and Climate Change. In: Tax by design. 2011. Disponível em: https://ifs.org.uk/publications/5353

MOREIRA NETO, Diogo de Figueiredo. Mutações do direito administrativo. Rio de Janeiro: Renovar, 2000

Ministério de Minas e Energia, Brasil. Nota Explicativa sobre a Proposta de Criação da Política Nacional de Biocombustíveis. Acesso em: 29/07/2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/arquivos/renovabio-nota-explicativa.pdf>

Mitchell, C., & Woodman, B. 2010. Regulation and Sustainable Energy Systems. In Baldwin, R., Cave, M., & Lodge, M. (Eds.), The Oxford Handbook of Regulation. Oxford University Press

NAÇÕES UNIDAS. Hottest July ever signals ‘era of global boiling has arrived’ says UN chief. UN News, 2023. Disponível em:

NORDENSVÄRD, Johan; URBAN, Frauke. The stuttering energy transition in Germany: Wind energy policy and feed-in tariff lock-in. Energy Policy, Volume 82, 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421515001159.

OGUS, Anthony. Regulation: legal form and economic theory. Oregon: Hart Publishing. 2004

PAIVA, Suelya da Silva Mendonça de. Produção de hidrogênio verde ambientalmente sustentável. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

POPPER, Karl R. Conjecturas e Refutações: O Desenvolvimento do Conhecimento Científico. 5ª ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1982.

PORTO, Antônio José Maristrello. Princípios de análise do direito e da economia. In: PINHEIRO, Armando Castelar; PORTO, Antônio José Maristrello; SAMPAIO, Patrícia Regina Pinheiro (Coords). Direito e economia: diálogos. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2019

PORTO, Antônio Maristrello; GAROUPA, Nuno. Curso de Análise Econômica do Direito. São Paulo: Atlas, 2020

PROSSER, Tony, The Regulatory Enterprise, Oxford, OUP, 2010

QUIRINO, Carina de Castro; HOCAYEN, Helena Gouvêa de Paula; CUNHA, Marcella Brandão Flores da. Sandbox regulatório: instrumento experimentalista à disposição da Administração Pública local como suporte ao desenvolvimento econômico. Revista de Direito Público da Economia – RDPE, Belo Horizonte, ano 21, n. 84, pp. 9-33, out. 2024.

SABOYA PINHEIRO, Maurício Mota. Políticas Públicas Baseadas Em Evidências (Ppbes): Delimitando O Problema Conceitual. IPEA. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes

SCHWARTZ, Teresa M., Protecting Consumer Health and Safety: The Need for Coordinated Regulation

SILVA, Débora Cristina Ferreira da. Os principais desafios do uso do hidrogênio no contexto brasileiro para a descarbonização: uma breve revisão bibliográfica. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em MBE Energia) – Instituto de Energia da PUC, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUCRIO, 2021

SILVA, F. G.; OLIVEIRA, R. M. O papel do sandbox regulatório no estímulo à inovação no Brasil. Revista Brasileira de Direito Administrativo, v. 12, n. 2, 2024.

SIRICO, Louis. Agencies in conflict: Overlapping agencies and the legitimacy of the administrative process. In: Vanderbilt Law Review, Vol. 33, No. 101. 1980

SQUADRITO; Gaetano, MAGGIO; Gaetano e NICITA, Agatino. The green hydrogen revolution. Renewable Energy, Volume 216, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148123009552>, acesso em: abril de 2024.

SUNSTEIN, Cass, After the rights revolution: reconceiving the regulatory state, Cambridge, Harvard University Press, 1990

SZTAJN, Rachel. Law and Economics. In: ZYLBERSZTAJN, Decio; SZTAJN, Rachel (Orgs.). Direito & Economia: Análise Econômica do Direito e das Organizações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005

TAYLOR, M.. Energy subsidies: Evolution in the global energy transformation to 2050. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. 2020. Disponível em: < >

THALER, Richard H. SUNSTEIN, Cass R. Nudge: improving decisions about health, wealth, and happiness. Michigan: Caravan. 2008

TINOCO MACHADO, V.. Coordenação Regulatória E Avocação De Competências Uma Análise De Caso Das Normas De Referências Previstas Pela Lei N° 14; 026 De Julho De 2020. TCC (Graduação em Direito) – Faculdade de Direito, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2022

TÁCITO, Caio. Prefácio. In: PEREIRA JÚNIOR, Jessé Torres. Da reforma administrativa do Estado. Rio de Janeiro: Renovar, 1999

VAN PARYS, Stefan. The Effectiveness Of Tax Incentives In Attracting Investment: Evidence From Developing Countries. Reflets et Perspectives, LI, 2012/3. Disponível em: .

VILLELA SOUTO, Marcos Juruena. Propostas Legislativas de Novo Marco Regulatório do Pré-Sal. In. Direito do Petróleo e Outras Fontes de Energia. Alexandre Aragao. 2011. Editora Lumen Iuris RJ

VINTER, Graham. Project finance: a legal guide. 2rd. ed. London: Sweet & Maxwell, 1998

WIR23. World Investment Report 2023: Investing in Sustainable Energy for all. New York and Geneva: United Nations. Disponível em:

World Energy Council – Germany (2022), Global harmonisation of hydrogen certification, German Energy Agency/World Energy Council, Berlin. Acesso em 10/12/2023, disponível em: ; IRENA Coalition for Action (2022), Decarbonising End-use Sectors: Green Hydrogen Certification, IRENA. Acesso em 10/12/2023, disponível em: ;

ZINAMAN, O.; MILLER, Mackay; BAZILIAN, M. Evolving Role of the Power Sector Regulator: A Clean Energy Regulators Initiative Report. Clean Energy Regulatory Initiative (CERI), 2014.