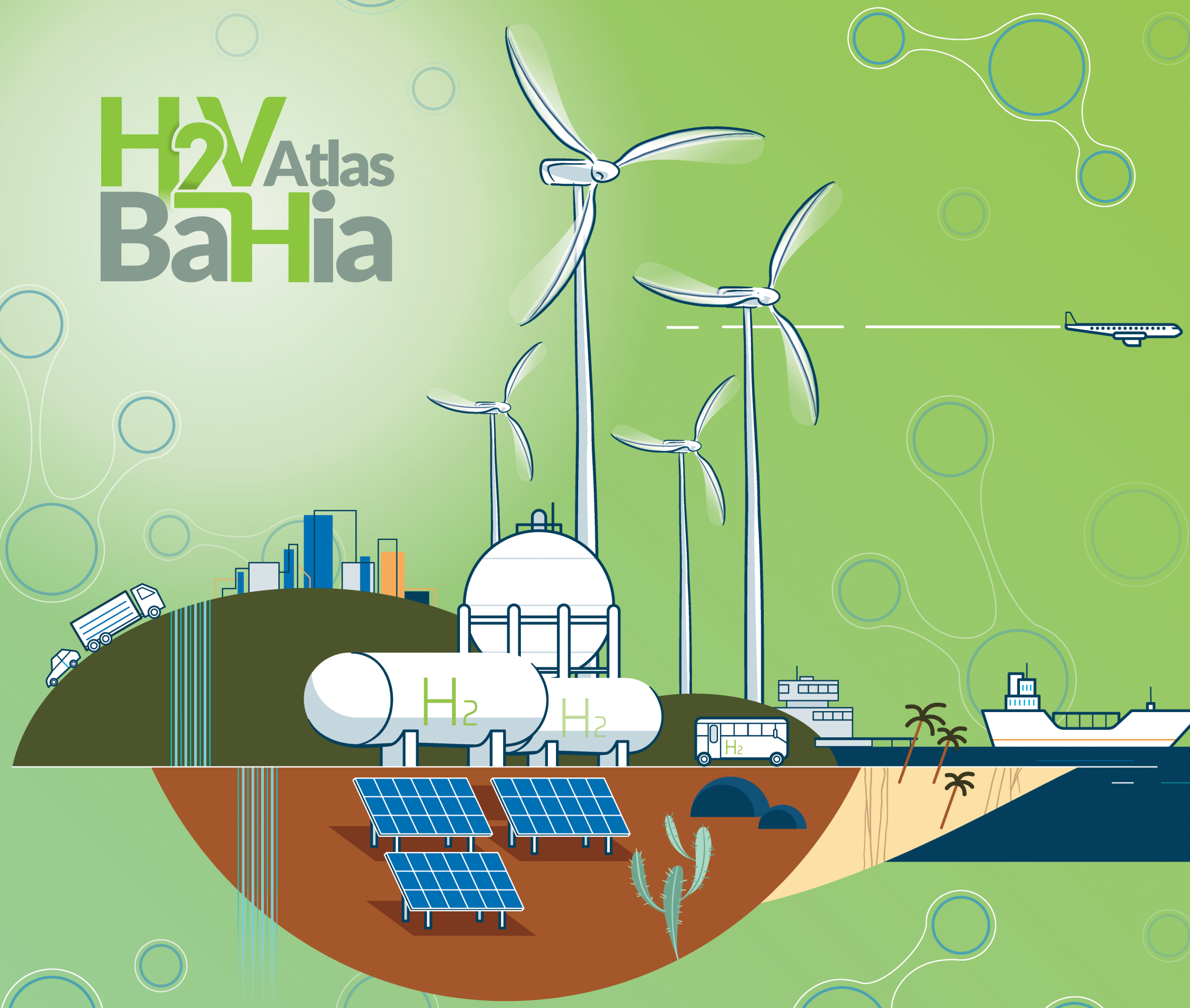
# H2V Atlas BaHia




Sistema FIEB | SENAI CIMATEC
PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO
BAHIA
SECRETARIA DO MEIO-AMBIENTE | SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO | SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA | SECRETARIA DO PLANEJAMENTO | SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

# H2V Atlas BAHIA

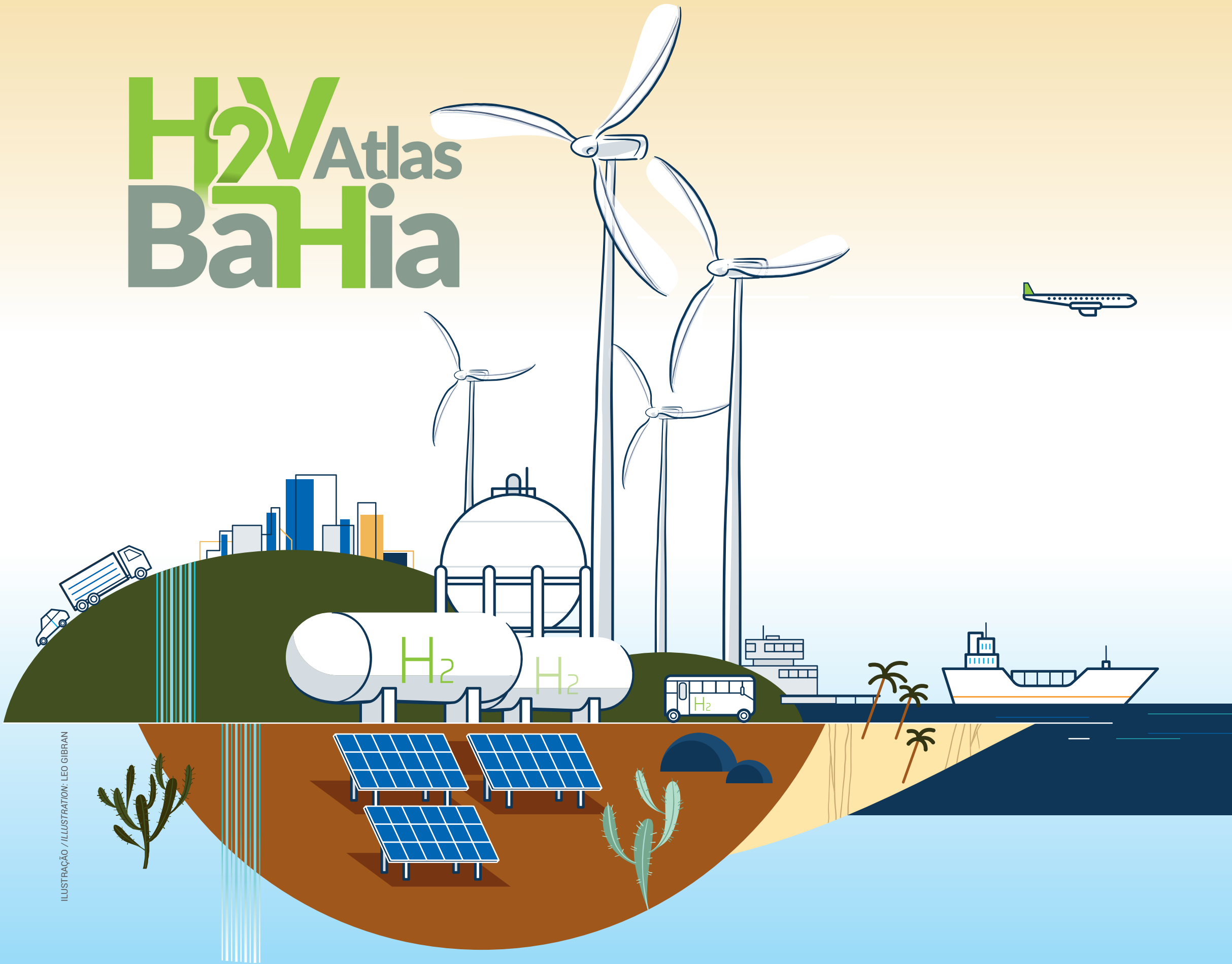



ILUSTRAÇÃO / *ILLUSTRATION*: LEO GIBRAN

Sistema FIEB | SENAI CIMATEC
PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO BAHIA
SECRETARIA DO MEIO-AMBIENTE | SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO | SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA | SECRETARIA DO PLANEJAMENTO | SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

# H2V Atlas Bahia

## PRODUÇÃO GOVERNO DO ESTADO
*PRODUCTION TEAM - BAHIA STATE GOVERNMENT*

### ESTADO DA BAHIA
*BAHIA STATE*

**Jerônimo Rodrigues**
*Governador* / *Governor*

**SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE – SEMA**
*SECRETARIAT OF STATE FOR THE ENVIRONMENT – SEMA*
**Eduardo Mendonça Sodré Martins**
*Secretário do Meio Ambiente* / *Secretary of Environment*

**SUPERINTENDÊNCIA DE INOVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL – SIDA**
*SUPERINTENDENCY OF ENVIRONMENTAL INNOVATION AND DEVELOPMENT – SIDA*
**Vânia Carla Moraes Almeida**
*Superintendente de Inovação e Desenvolvimento Ambiental*
*Superintendent of Environmental Innovation and Development*

**INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - INEMA**
*INSTITUTE OF THE ENVIRONMENT AND WATER RESOURCES – INEMA*
**Márcia Cristina Telles de Araújo Lima**
*Diretoria Geral - DIREG* / *General Directory - DIREG*

**EQUIPE TÉCNICA**
*TECHNICAL TEAM*
**Luiz Carlos de Araujo Júnior**
*Diretoria de Programas e Projetos - DIPRO*
*Programs and Projects Directory - DIPRO*

**Pedro José Martins Queirós Fialho Tojo**
*Assessoria Especial da Superintendência de Inovação e Desenvolvimento Ambiental - SIDA*
*Special Advisory to the Superintendency of Environmental Innovation and Development - SIDA*

**Eduardo Farias Topázio**
*Diretoria de Recursos Hídricos e Monitoramento Ambiental - DIRAM*
*Water Resources and Environmental Monitoring Directory - DIRAM*

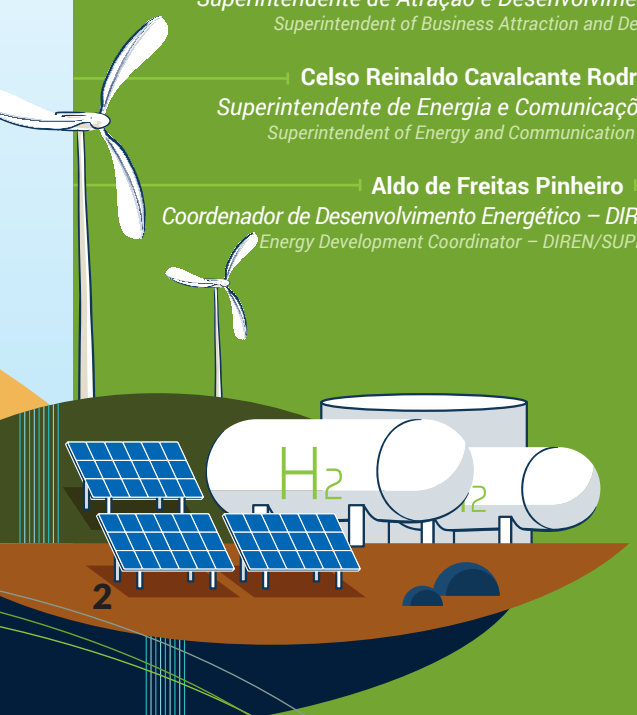
**Denise Matos Mach**
*Diretoria de Interiorização do Desenvolvimento e Fomento à Indústria de Energias Renováveis*
*Directory of Internalization of Development and Promotion of the Renewable Energy Industry*

**Roberto Antônio Fortuna Carneiro**
*Coordenador de Fomento à Indústria de Energias Renováveis*
*Promotion Coordinator of Renewable Energy Industry*

**Paulo Roberto Britto Guimarães**
*Superintendente de Atração e Desenvolvimento de Negócios*
*Superintendent of Business Attraction and Development*

**Celso Reinaldo Cavalcante Rodrigues**
*Superintendente de Energia e Comunicações – SEINFRA*
*Superintendent of Energy and Communication – SEINFRA*

**Aldo de Freitas Pinheiro**
*Coordenador de Desenvolvimento Energético – DIREN/SUPEC/SEINFRA*
*Energy Development Coordinator – DIREN/SUPEC/SEINFRA*




## PRODUÇÃO SENAI CIMATEC
*PRODUCTION TEAM - SENAI CIMATEC*

**COORDENAÇÃO EXECUTIVA** / *EXECUTIVE COORDINATION*

**Leone Peter Correia da Silva Andrade**
*Diretor Geral*
*General Director*

**Luis Alberto Brêda Mascarenhas**
*Diretor de Tecnologia e Inovação*
*Technology and Innovation Director*

**José Luis Gonçalves de Almeida**
*Gerente Executivo* / *Executive Manager*

**Alex Álisson Bandeira Santos**
*Gerente de Negócios* / *Business Manager*

**Miguel Andrade Filho**
*Executivo de Novos Negócios*
*New Business Development Executive*

**Walter de Freitas Pinheiro**
*Consultor Técnico* / *Technical Advisor*

**Pedro Becker Pozzi**
*Gerente de Negócios* / *Business Manager*

**Otanea Brito de Oliveira**
*Gerente de Negócios* / *Business Manager*

**Ricardo de Oliveira Monteiro Russel**
*Gerente de Negócios* / *Business Manager*

**COORDENAÇÃO TÉCNICA** / *TECHNICAL COORDINATION*

**Lucas Sarmento Neves da Rocha**
*Líder Técnico*
*Technical Leader*

**Herica de Souza Araujo**
*Gerente de Projetos – PMO*
*Project Manager - PMO*

**EQUIPE TÉCNICA** / *TECHNICAL STAFF*

**Meio Ambiente** / *Environment*
Edna dos Santos Almeida
Marcelo Henrique de Jesus
Naiara Mota dos Santos
Rômulo Alexandrino Silva
Viviane Spencer Andrade

**Logística** / *Logistics*
Carolina Sacramento Vieira
Carlos César Ribeiro Santos
Maíra Silva Andrade
Pedro Veiga Santos
Vitorio Donato

**Eficiência Energética**
*Energy Efficiency*
Paulo Roberto Freitas Neves
Paulo Roberto Santana dos Reis
Turan Dias Oliveira

**Modelagem** / *Modeling*
Bruno Leonardo Santos Menezes
Ricardo Gomes de Oliveira
Valter de Senna

**Estudos Econômicos** / *Economic Studies*
Gabriel Alves de Pinho
Rivanna Maria Figueredo de Matos

## EDIÇÃO
*EDITION TEAM*

**PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO**
*GRAPHIC PROJECT AND DIAGRAMATION*
du.ppg.br

**ILUSTRAÇÕES** / *ILLUSTRATIONS*
Leo Gibran

**REVISÃO DE TEXTO** / *TEXT REVISION*
Melissa Zanardo

**TRADUÇÃO** / *ENGLISH VERSION*
Eliana Rodolpho

**CAPA** / *COVER PAGE*
Leo Gibran

**IMPRESSÃO E ACABAMENTO**
*PRINTING & FINISHING*
Optagraf

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Centro Universitário SENAI CIMATEC

S491a Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI CIMATEC

Atlas H2V Bahia / Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI CIMATEC. – Salvador : SENAI CIMATEC : SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, 2023.
128 p. : il. color., mapas color.

Inclui referências.
ISBN 978-85-60771-20-2
Disponível em: sites do Governo do Estado e no site do CIMATEC. Versão digital em pendrives.
Título e texto em português e inglês.

1. Hidrogênio verde – Bahia – Mapas. 2. H2V – Capacidade de produção – Bahia. 3. Hidrogênio – Uso energético – Combustível. 4. Energia – Fontes renováveis – Bahia. 5. Hidrogênio – Vetor de descarbonização – Bahia. 6. Meio ambiente. I. Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado da Bahia. II. Título.

CDD 363.7

ILUSTRAÇÕES / *ILLUSTRATIONS*: LEO GIBRAN

IMPRESSO NO BRASIL/*PRINTED IN BRAZIL*

# MENSAGEM DO GOVERNADOR

A Bahia é um estado que se preocupa com os efeitos negativos que o processo de mudanças climáticas pode gerar tanto no meio ambiente quanto na socioeconomia estadual. Em função disso, estamos trabalhando para promover a descarbonização da nossa matriz energética, produtiva, de transportes e pela promoção do desenvolvimento sustentável. Ocupando a liderança nacional na geração total de energia elétrica de fontes renováveis, como eólica e solar, graças ao trabalho realizado pelo ex-governador e atual Senador pela Bahia, Jaques Wagner, o estado lançou o seu Plano Estadual para a Economia do Hidrogênio Verde (PLEH2V) e o mapeamento do potencial da Bahia para produção de hidrogênio verde e seus derivados, resultado do apoio do Governador Rui Costa à temática.

Nesse sentido, o presente Atlas traz um conjunto de informações claras e precisas, com a identificação das áreas no estado com vocação para a produção do Hidrogênio Verde e seus derivados. Este mapeamento pioneiro destina-se aos empreendedores, fundos de financiamento, organizações de pesquisa e tecnologia, entidades governamentais e ambientalistas, envolvidos na promoção, fortalecimento e consolidação dessa temática.

Os dados apresentados revelam que a Bahia tem potencial para produzir mais de 60 milhões de toneladas de Hidrogênio Verde por ano, considerando os potenciais de energia solar e eólica associados à disponibilidade de recursos hídricos subterrâneos e superficiais, em posição de liderança rumo a uma economia descarbonizada.

Assim, em alinhamento com os objetivos da política do Presidente Luís Inácio Lula da Silva de implementar no País uma economia sustentável e a mitigação dos efeitos das mudanças do clima, o Governo do Estado da Bahia disponibiliza para a sociedade o *Atlas H2V Bahia*, elaborado em parceria com o SENAI CIMATEC. Com essa publicação, nosso Governo reconhece a importância que as cadeias produtivas do Hidrogênio Verde possuem como elemento essencial para um novo modelo de desenvolvimento para a Bahia, com menor intensidade em carbono, maior contribuição para o combate ao processo de mudanças climáticas, aderência à estratégia nacional da neoindustrialização verde, aumento da competitividade da economia do estado e diversificação da pauta de exportações locais a partir dos produtos verdes.

**JERÔNIMO RODRIGUES**
*GOVERNADOR DA BAHIA*
*BAHIA STATE GOVERNOR*

## *Message from the Governor*

*Bahia is a state concerned about the negative effects that the process of climate change could have on both the environment and the state's socio-economy. As a result, we are working to decarbonize our energy, production and transportation matrix and to promote sustainable development. Occupying the national leadership in the total generation of electricity from renewable sources, such as wind and solar, thanks to the work carried out by the former governor and current Senator for Bahia, Jaques Wagner, the state launched its Plan for the Green Hydrogen Economy (PLEH2V) and the mapping of Bahia's potential for the production of green hydrogen and its derivatives, as a result of Governor Rui Costa's support for the theme.*

*In this sense, this Atlas provides a set of clear and precise information, identifying the areas in the state with a vocation for the production of Green Hydrogen and its derivatives. This pioneering mapping is aimed at entrepreneurs, financing funds, research and technology organizations, government entities and environmentalists involved in promoting, strengthening and consolidating this theme.*

*The facts presented show that Bahia has potential to produce more than 60 million tons of Green Hydrogen per year, considering the potential of solar and wind energy associated with the availability of underground and surface water resources, in a leading position towards a decarbonized economy.*

*Thus, in line with President Luís Inácio Lula da Silva's policy objectives of implementing a sustainable economy in the country and mitigating the effects of climate change, the Bahia State Government is making available to the public the H2V Bahia Atlas, produced in partnership with SENAI CIMATEC. With this publication, our government recognizes the importance of the Green Hydrogen production chains as an essential element for a new development model for Bahia, with lower carbon emissions, a greater contribution to fight climate change, adherence to the national green neo-industrialization strategy, an increase in the competitiveness of the state's economy and diversification of local exports based on green products.*

*Salvador, August 2023.*

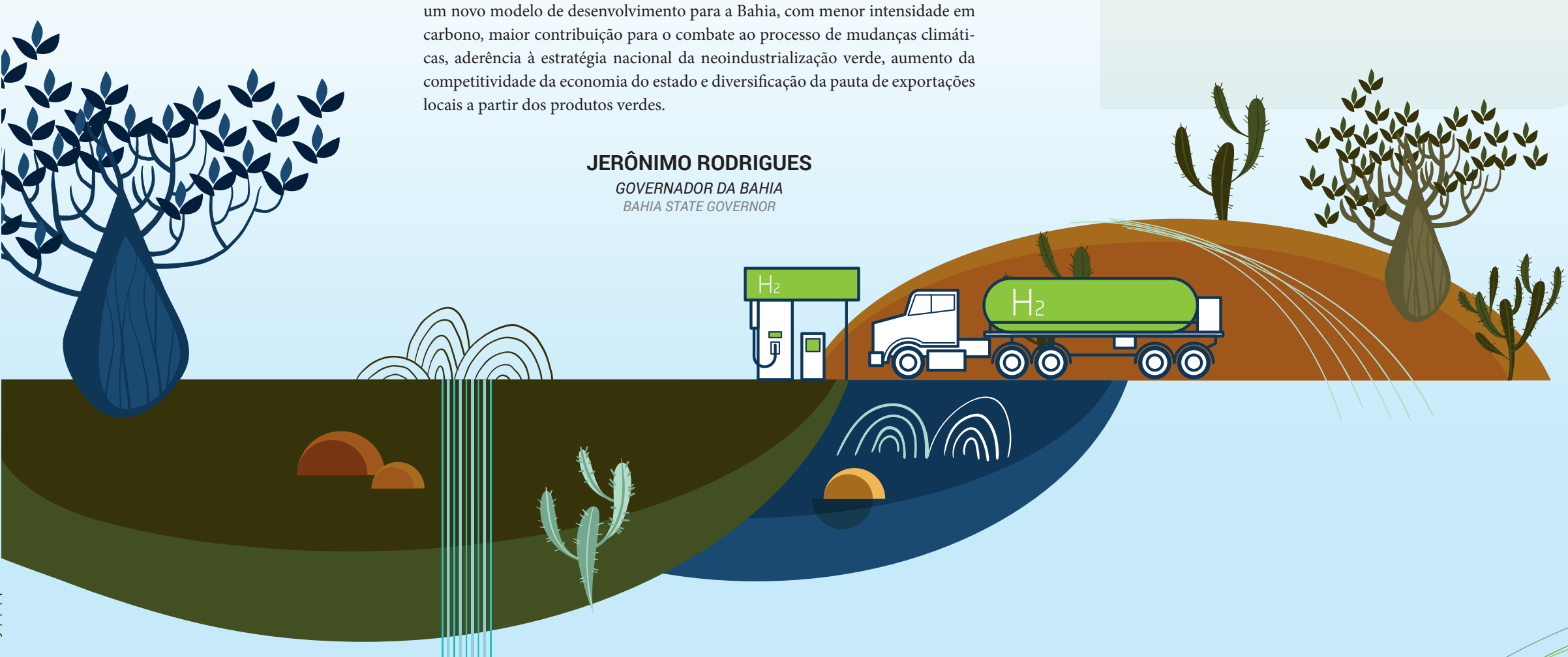



ILUSTRAÇÃO / *ILLUSTRATION:* LEO GIBRAN

## *Note by the secretaries*

*In recent years, Green Hydrogen (GH2) has assumed a prominent position in the global energy transition process, thanks to its potential for decarbonizing sectors of the economy that are difficult to electrify, particularly in industry, urban mobility and long-distance heavy transportation.*

*GH2 is produced from renewable energy sources or renewable raw materials, without carbon emissions into the atmosphere, which contributes to reducing the growth rate of greenhouse gas emissions, as well as mitigating the effects of climate change. This is in line with the principles of the Bahia State Climate Change Policy, set out in State Law 12.050, of January 7, 2011, and the international guidelines established by the Paris Agreement and the United Nations Conference on Climate Change - COP26.*

*In this context, inspired by the success of the Bahia Wind Atlas, launched in 2013, and the Bahia Solar Atlas, launched in 2018, the Secretariats for the Environment (SEMA), Science, Technology and Innovation (SECTI), Infrastructure (SEINFRA), Economic Development (SDE) and Planning (SEPLAN) have joined forces in the pioneering mapping of areas with a vocation for the production of Green Hydrogen in the territory of Bahia State, with a view to attracting investments, promoting, strengthening and consolidating the GH2 production chain in the state.*

*The Bahia State Government, in cooperation with SENAI CIMATEC, developed an in-depth study on GH2 in Bahia under Governor Rui Costa, which analyzed, using a mathematical model, data related to environmental aspects, socio-economic development, infrastructure and the availability of renewable resources, like water. This effort resulted in the production of the* GH2 Bahia Atlas*, a milestone for the development of the production chains of Green Hydrogen and its derivatives in the state, in close partnership with the Government of President Luís Inácio Lula da Silva, who is launching a regulatory milestone for this activity in the country, and with the business sector, in order to attract investments to Bahia related to the sector.*

*The* GH2 Bahia Atlas*, in compliance with State Decree No. 21.200 of March 2, 2022, which instituted the State Plan for the Green Hydrogen Economy (PLEH2V), in addition to subsidizing the decision of private investors to develop projects for the production, processing and use of GH2, will support the formulation of policies for attracting investment, development, modernization and diversification of the state's industry.*

# Nota dos Secretários

Nos últimos anos o Hidrogênio Verde (H2V) assumiu posição de destaque no processo de transição energética global, graças ao seu potencial para descarbonização de setores da economia difíceis de serem eletrificados, em particular na indústria, na mobilidade urbana e nos transportes pesados de longas distâncias.

O H2V é produzido a partir de fontes de energia renováveis ou de matérias-primas renováveis, sem emissão de carbono para a atmosfera, o que contribui para a redução da taxa de crescimento das emissões de gases de efeito estufa, bem como para a mitigação dos efeitos das mudanças do clima. Fatos que estão em consonância com os princípios da Política sobre Mudança do Clima do Estado da Bahia, presentes na Lei Estadual nº 12.050, de 07 de janeiro de 2011, e as diretrizes internacionais estabelecidas pelo Acordo de Paris e pela Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas – COP26.

Nesse contexto, inspirados no êxito do Atlas Eólico da Bahia, lançado em 2013, e do Atlas Solar da Bahia, lançado em 2018, as Secretarias do Meio Ambiente (SEMA), da Ciência, Tecnologia e Inovação (SECTI), de Infraestrutura (SEINFRA), de Desenvolvimento Econômico (SDE) e do Planejamento (SEPLAN) integraram esforços no mapeamento pioneiro das áreas com vocação para a produção do Hidrogênio Verde em território baiano, visando à atração de investimentos, promoção, fortalecimento e consolidação da cadeia produtiva do H2V no estado.

O Governo do Estado da Bahia, em cooperação com SENAI CIMATEC, desenvolveu, no período do Governador Rui Costa, um estudo aprofundado sobre o H2V na Bahia, que analisou, a partir de um modelo matemático, dados relacionados à aspectos ambientais, de desenvolvimento socioeconômico, de infraestrutura e de disponibilidade de recursos renováveis, a exemplo da água. Tal esforço resultou na produção do *Atlas H2V Bahia*, um marco para o desenvolvimento das cadeias produtivas do Hidrogênio Verde e seus derivados no estado, em estreita parceria com o Governo do Presidente Luís Inácio Lula da Silva, que está lançando um marco regulatório para esta atividade no País, e com o setor empresarial, de forma a permitir a atração de investimentos ligados ao setor para a Bahia.

O *Atlas H2V Bahia*, em observância ao Decreto Estadual nº 21.200, de 02 de março de 2022, que instituiu o Plano Estadual para a Economia de Hidrogênio Verde (PLEH2V), além de subsidiar a decisão do investidor privado no desenvolvimento de projetos de produção, processamento e utilização de H2V, apoiará a formulação de políticas para a atração de investimentos, de desenvolvimento, modernização e diversificação da indústria do estado.


**AFONSO FLORENCE**
*SECRETÁRIO DA CASA CIVIL*
*CIVIL HOUSE SECRETARY*

**EDUARDO MENDONÇA SODRÉ MARTINS**
*SECRETÁRIO DO MEIO AMBIENTE*
*ENVIRONMENT SECRETARY*

**ANDRÉ PINHO JOAZEIRO**
*SECRETÁRIO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO*
*SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION SECRETARY*

**SÉRGIO LUÍS LACERDA BRITO**
*SECRETÁRIO DE INFRAESTRUTURA*
*INFRASTRUCTURE SECRETARY*

**ANGELO ALMEIDA**
*SECRETÁRIO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO*
*ECONOMIC DEVELOPMENT SECRETARY*

**CLÁUDIO RAMOS PEIXOTO**
*SECRETÁRIO DO PLANEJAMENTO*
*PLANNING SECRETARY*

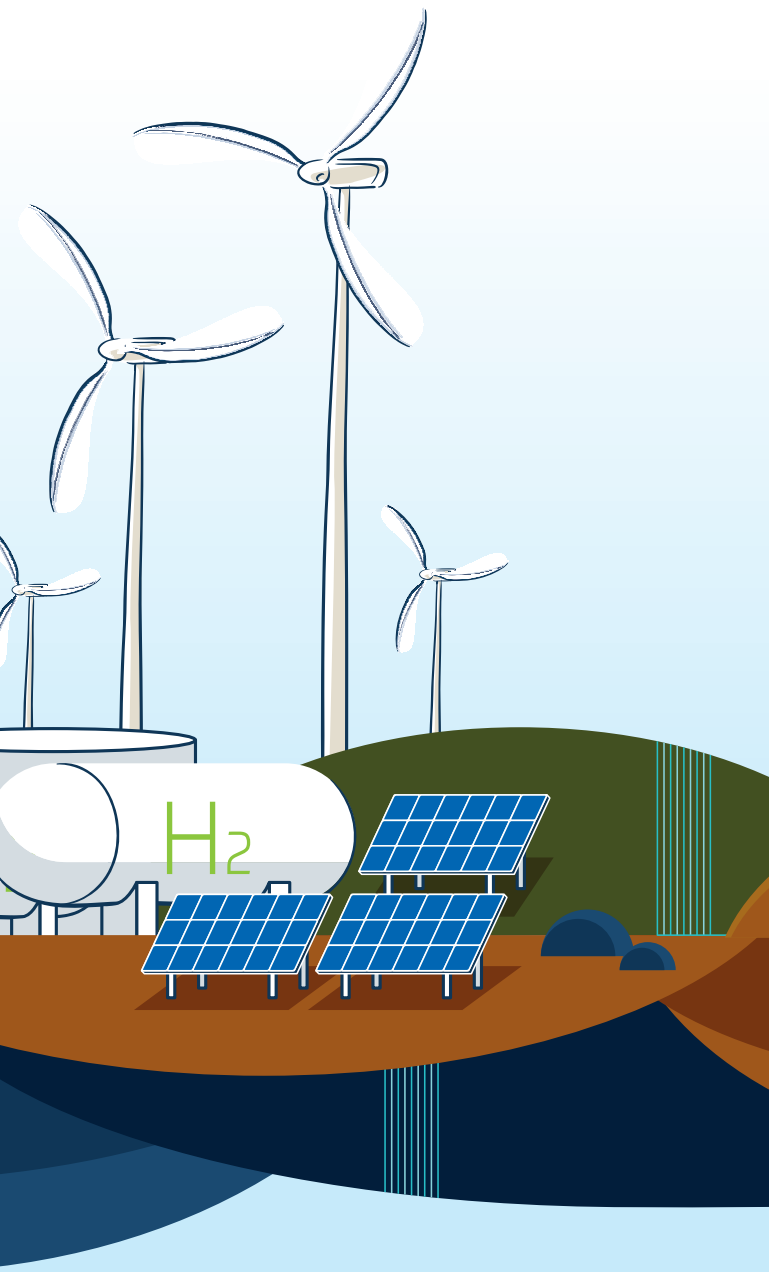




ILUSTRAÇÃO / *ILLUSTRATION:* LEO GIBRAN

# CONSTRUINDO UMA NOVA BAHIA
## Rumo a um Futuro Sustentável

A capacidade do Hidrogênio Verde (H2V) ser armazenado, transportado e utilizado como insumo industrial e fonte de energia limpa é imensa, o que faz com que sua relevância em escala global seja cada vez mais evidente, conforme o mundo procura soluções para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e para combater as mudanças climáticas.

O H2V pode desempenhar um papel fundamental na transição energética para uma economia de baixo carbono em vários setores, incluindo a geração de energia térmica para a indústria, transporte pesado, aviação, entre outros. Países em todo o mundo estão reconhecendo esse potencial e investindo na produção de Hidrogênio Verde e seus derivados, como amônia e uréia verdes, metanol e diesel verdes, SAF, aço verde, entre diversos outros produtos, estratégicos para o processo que passou a ser conhecido como neoindustrialização verde.

Localizada na Região Nordeste do Brasil, a Bahia é o quinto maior estado do país em população e área territorial. Possui uma economia diversificada, com fortes setores de comércio/serviços, agropecuária e indústria (de refino, petroquímica, química, agroindústria, papel e celulose, óleo e gás, mineração, siderurgia, dentre outras). Destaca-se também pelo seu grande potencial para produção de energia renovável, aproveitando as suas características hídricas, a taxa de radiação solar, uma das melhores do país, e os fortes ventos alísios unidirecionais e constantes. Além disso, a Bahia possui know-how e infraestrutura petroquímica, que a capacita para a produção e uso de H2V no Polo Industrial de Camaçari.

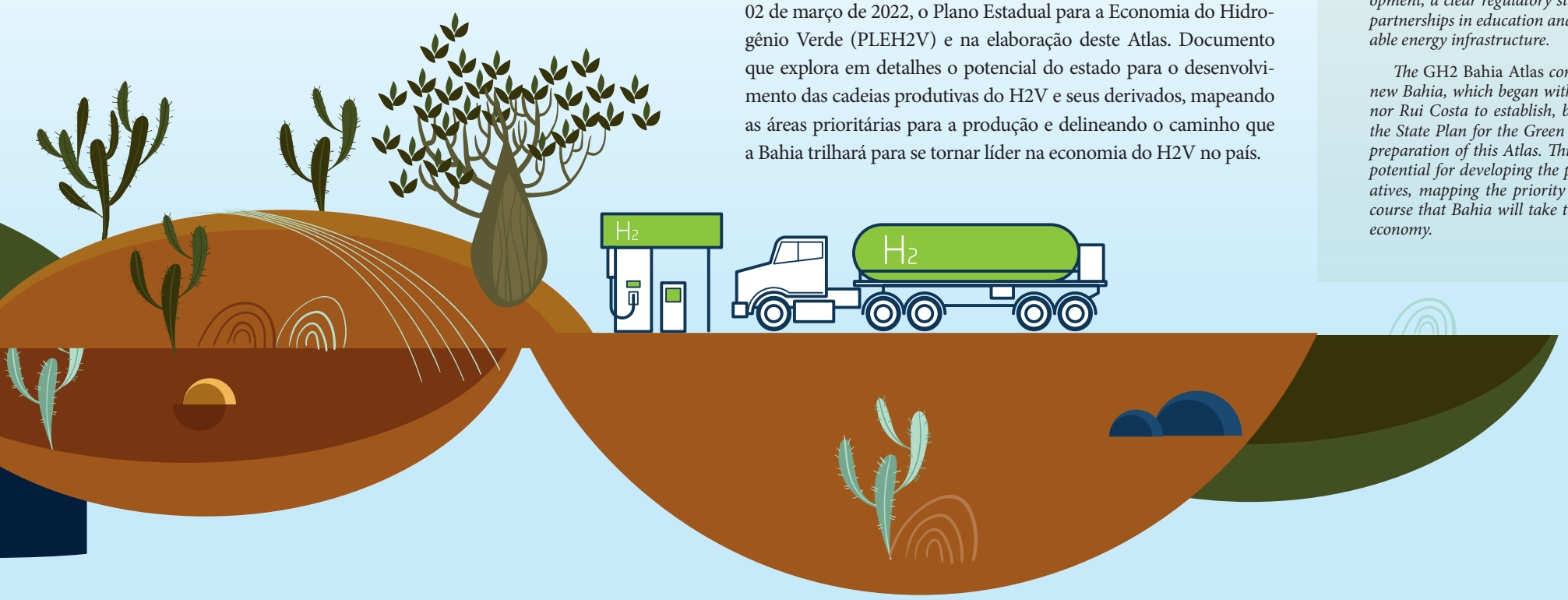
Todo esse potencial é reforçado pela localização estratégica da Bahia, com excelentes condições naturais na Baía de Todos-os-Santos para acesso ao Atlântico e uma rede de estradas e ferrovias, que se somam a portos relevantes, facilitando o transporte dos derivados do H2V, como amônia, metanol, diesel e fertilizantes, entre outros produtos considerados verdes, para outras regiões do Brasil e para exportação.

Todavia, ainda existem alguns desafios associados à produção do Hidrogênio Verde, tanto tecnológicos quanto regulatórios, os quais demandam pesquisa avançada e decisão política para serem resolvidos. Nesse sentido revestem-se de grande relevância as ações desenvolvidas no âmbito do Governo do Presidente Luís Inácio Lula da Silva para estruturação no País de um marco regulatório, parceria com os estados, apoio ao financiamento dos investidores privados via BNDES e de pesquisa e desenvolvimento. A questão regulatória é estratégica para criar a segurança necessária para os investidores privados e para estimular o uso desse novo vetor energético pela contribuição ambiental.

A Bahia dispõe de um grande potencial em termos de recursos naturais abundantes e infraestrutura existente para se tornar um líder na produção e uso de H2V e seus derivados. Essa nova fonte energética e todas as suas cadeias produtivas associadas possuem o potencial para construir um novo modelo de desenvolvimento para a Bahia, capaz de promover a redução da intensidade em carbono da sua matriz produtiva e de transporte, a inserção na chamada Economia Verde, criação dos chamados empregos verdes, estimular a economia local, diversificando a pauta das exportações estaduais com os chamados produtos verdes, integrar a agricultura, principalmente a familiar, a partir da biomassa, com as empresas de produção dos biocombustíveis renováveis sintéticos. Dessa forma, a Bahia estará dando sua contribuição com os esforços globais para combater as mudanças climáticas.

Para alcançar esses objetivos, o Governo da Bahia está desenvolvendo parcerias com o setor empresarial e com o Governo do Presidente Lula para ampliar os investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, uma estrutura regulatória clara, promoção de parcerias públicas-privadas, na educação e treinamento da força de trabalho, assim como na infraestrutura de energias renováveis.

O *Atlas H2V Bahia* vem contribuir com o esforço de construirmos uma nova Bahia, que se iniciou com a importante decisão do então Governador Rui Costa de instituir, pelo Decreto nº 21.200 de 02 de março de 2022, o Plano Estadual para a Economia do Hidrogênio Verde (PLEH2V) e na elaboração deste Atlas. Documento que explora em detalhes o potencial do estado para o desenvolvimento das cadeias produtivas do H2V e seus derivados, mapeando as áreas prioritárias para a produção e delineando o caminho que a Bahia trilhará para se tornar líder na economia do H2V no país.




## *BUILDING A NEW BAHIA*
## *Towards a Sustainable Future*

*The capacity of Green Hydrogen (GH2) to be stored, transported and used as an industrial input and clean energy source is immense, which makes its relevance on a global scale increasingly evident as the world looks for solutions to reduce greenhouse gas emissions and fight climate change.*

*GH2 can play a key role in the energy transition to a low-carbon economy in various sectors, including thermal power generation for industry, heavy transportation, aviation, among others. Countries around the world are recognizing this potential and investing in the production of green hydrogen and its derivatives, such as green ammonia and urea, green methanol and diesel, SAF, green steel, among many other products, which are strategic to the process that is now known as green neo-industrialization.*

*Located in the northeast region of Brazil, Bahia is the country's fifth largest state in terms of population and land area. It has a diversified economy, with strong trade/services, farming and industry sectors (refining, petrochemicals, chemicals, agroindustry, pulp and paper, oil and gas, mining, steel, among others). It also stands out for its great potential for producing renewable energy, taking advantage of its hydroelectric characteristics, the rate of solar radiation, one of the best in the country, and the strong unidirectional and constant trade winds. In addition, Bahia has the know-how and petrochemical infrastructure to produce and use H2V at the Camaçari Industrial Complex.*

*All this potential is reinforced by Bahia's strategic location, with excellent natural conditions in Todos-os-Santos Bay for access to the Atlantic ocean and a network of roads and railroads, which added to relevant ports, facilitate the transportation of GH2 derivatives, such as ammonia, methanol, diesel and fertilizers, among other products considered green, to other regions of Brazil and for exportation.*

*However, there are still some challenges associated with the production of green hydrogen, both technological and regulatory, which require advanced research and political decisions to be resolved. In this sense, the actions developed under the government of President Luís Inácio Lula da Silva to structure a regulatory milestone in the country, partnerships with the states, support for financing private investors through BNDES and research and development are of great importance. The regulatory aspect is strategic to create the necessary security for private investors and to stimulate the use of this new energy vector for its environmental contribution.*

*Bahia has great potential in terms of natural resources in abundance and existing infrastructure to become a leader in the production and use of GH2 and its derivatives. This new energy source and all its associated production chains have the potential to build a new development model for Bahia, capable of promoting a reduction in the carbon intensity emission of its production and transportation matrix, insertion into the so-called Green Economy, creation of so-called green jobs, stimulating the local economy, diversifying the state's export portfolio with so-called green products, integrating agriculture, especially family farming, based on biomass, with companies producing synthetic renewable biofuels. In this way, Bahia will be making its contribution to global efforts to fight climate change.*

*To achieve these goals, the Bahia State Government is developing partnerships with the business sector and with President Lula's government to increase investments in research and technological development, a clear regulatory structure, the promotion of public-private partnerships in education and workforce training, as well as in renewable energy infrastructure.*

*The* GH2 Bahia Atlas *comes to contribute to the effort to build a new Bahia, which began with the important decision by then Governor Rui Costa to establish, by Decree No. 21.200 of March 2, 2022, the State Plan for the Green Hydrogen Economy (PLEH2V) and the preparation of this Atlas. This document explores in detail the state's potential for developing the production chains of GH2 and its derivatives, mapping the priority areas for production and outlining the course that Bahia will take to become a leader in the country's GH2 economy.*

# SUMÁRIO
*SUMMARY*


Mensagem do Governador / *Message from the Governor* 03
Nota dos Secretários / *Note by the Secretaries* 04
CONSTRUINDO UMA NOVA BAHIA – Rumo a um Futuro Sustentável / *BUILDING A NEW BAHIA – Towards a Sustainable Futuree* 05

**1 O ESTADO DA BAHIA** / *BAHIA STATE* **08**

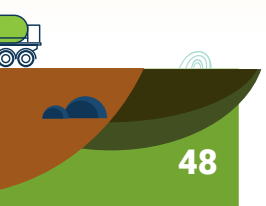
1.1 Caracterização geográfica / *Geographical description* 09
1.2 Panorama socioeconômico / *Economic and Social overview* 10
1.3 Matriz elétrica / *Electric matrix* 13
1.4 Infraestrutura / *Infrastructure* 15
1.4.1 Sistema elétrico / *Electric system* 15
1.4.2 Distritos industriais / *Industry districts* 17
1.4.3 Dutovias / *Pipelines* 17
1.4.4 Modal aquaviário / *Waterway transportation* 19
1.4.5 Modal rodoviário / *Road transportation* 20
1.4.6 Modal ferroviário / *Railroad transportation* 21
1.4.7 Modal aeroviário / *Airway transportation* 21

**2 CONCEITOS E TECNOLOGIAS** / *CONCEPTS & TECHNOLOGIES* **24**

2.1 Propriedades químicas e histórico / *Chemicals: properties & history* 25
2.2 Hidrogênio como vetor de descarbonização / *Hydrogen as a vector of decarbonization* 27
2.3 Fontes e cores do hidrogênio / *Hydrogen fonts & colors* 27
2.4 Rotas de produção / *Production routes* 28
2.4.1 Eletrólise da água / *Electrolysis of water* 29
2.4.2 A partir da biomassa / *From biomass* 30
2.4.3 Maturidade tecnológica / *Technologic maturity* 31
2.5 Logística / *Logistics* 32
2.5.1 Armazenamento / *Warehousing* 32
2.5.2 Transporte e distribuição / *Transportation & distribution* 34
2.5.3 Cadeia de suprimentos / *Supply chain* 35
2.6 Regulamentação / *Regulation* 36
2.6.1 Certificação do H2V / *GH2 certification* 36
2.6.2 Certificado de garantia de origem / *Guarantee of origin certificate* 37

**3 MEIO AMBIENTE** / *ENVIRONMENT* **38**

3.1 Licenciamento ambiental / *Environmental license* 39
3.1.1 Empreendimentos para produção de H2V / *Enterprises for GH2 production* 39
3.1.2 Outorga de uso da água / *Water use permits* 40
3.2 Áreas de proteção no estado da Bahia / *Protected areas in Bahia State* 41
3.2.1 Unidades de conservação / *Conservation units* 42
3.2.2 Terras indígenas, quilombos e assentamentos agrícolas / *Indigenous lands, quilombos and agricultural settlements* 44
3.3 Hidrogênio Verde e meio ambiente / *Green Hydrogen and environment* 45


**4 O MERCADO DE H2V** / *THE GH2 MARKET* **48**

4.1 Demandas atuais / *Current demand* 49
4.1.1 Processos industriais / *Industrial processes* 50
4.1.2 Síntese de produtos para a indústria / *Synthesis of products for industry* 51
4.1.3 Demanda de produção estimada / *Estimated production demand* 51
4.2 Novos mercados / *New markets* 52
4.2.1 Uso energético / *Energy use* 52
4.2.2 Mineração e siderurgia / *Mining and steel industry* 53
4.2.3 Combustível para transporte / *Fuel for transport sector* 53
4.2.4 Armazenamento de energia / *Energy storage* 54
4.2.5 Maturidade tecnológica / *Technology maturity* 54

**5 METODOLOGIA** / *METHODOLOGY* **56**

5.1 Áreas de restrição / *Restricted areas* 57
5.2 Energia renovável / *Renewable energy* 57
5.2.1 Potencial eólico / *Wind potential* 57
5.2.2 Potencial solar fotovoltaico / *Photovoltaic solar potential* 58
5.2.3 Áreas de interseção eólica e solar / *Areas of wind and solar intersection* 58
5.3 Recursos hídricos / *Water resources* 58
5.3.1 Águas superficiais / *Surface waters* 59
5.3.2 Águas subterrâneas / *Underground waters* 60
5.3.3 Demandas de uso / *Usage demands* 60
5.3.4 Disponibilidade hídrica / *Water availability* 61
5.4 Potencial de produção de H2V / *Potential production of GH2* 61


ILUSTRAÇÕES / *ILLUSTRATIONS*: LEO GIBRAN

**6 MAPAS TEMÁTICOS** *THEMATIC MAPS* **62**

6.1 Áreas de restrição / *Restricted areas* 63
6.2 Velocidade média do vento a 150 m de altura / *Average wind speed at 150 m height* 64
6.3 Irradiação global horizontal anual / *Annual global horizontal irradiation* 65
6.4 Áreas com potencial eólico acima de 7 m.s$^{-1}$ a 150 m de altura / *Areas with wind potential above 7 m.s$^{-1}$ at 150 m height* 66
6.5 Irradiação global horizontal das áreas com pontencial eólico acima de 7 m.s$^{-1}$ a 150 m de altura / *Global horizontal irradiation of areas with wind potential above 7 m.s$^{-1}$ at 150 m height* 66
6.6 Complementariedade eólica e solar / *Wind and solar complementarity* 67
6.7 Recursos hídricos superficiais / *Surface water resources* 68
6.8 Recursos hídricos subterrâneos / *Groundwater resources* 69

**7 ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS** *ANALYSIS AND DIAGNOSIS* **70**

7.1 Áreas de restrição / *Restriction areas* 71
7.2 Potencial eólico / *Wind potential* 71
7.3 Potencial solar fotovoltaico / *Solar photovoltaic potential* 73
7.4 Potencial híbrido (eólico e solar fotovoltaico) / *Hybrid potential (wind and solar photovoltaic)* 74
7.5 Disponibilidade hídrica / *Water availability* 74
7.6 Potencial de produção de H2V / *Potential production of GH2* 61
7.7 Demanda de H2V dos principais setores econômicos / *GH2 demand from the main economic sectors* 78
7.8 Perspectivas de exportação / *Exportation perspectives* 79

**8 ÁREAS PRIORITÁRIAS** *PRIORITY AREAS* **82**

8.1 Construção do modelo / *Construction of the model* 85
8.1.1 Premissas / *Premises* 86
8.1.2 Critérios, subcritérios e hierarquia / *Criteria, sub-criteria and hierarchy* 87
8.1.3 Análise de impacto / *Analysis of impact* 89
8.1.4 Cenários / *Scenarios* 91
8.1.5 Alternativas / *Alternatives* 92
8.2 Aptidão para o H2V / *Suitability for GH2* 92
8.2.1 Resultados do modelo / *Results of the model* 92
8.2.2 Áreas prioritárias / *Priority areas* 98

**9 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS** *CONCLUSIONS AND FINAL CONSIDERATIONS* **102**

**APÊNDICES** *APPENDICES* **108**

**A APÊNDICE A – EQUAÇÕES E MÉTODOS DE CÁLCULO** *APPENDIX A – EQUATIONS AND CALCULATION METHODS* **108**

A.1 Aspectos de desenvolvimento / *Development aspects* 109
A.1.1 Índice FIRJAN de desenvolvimento municipal – IFDM / *FIRJAN index of city development – IFDM* 109
A.1.2 Índice de vulnerabilidade social – IVS / *Index of social vulnerability – IVS* 109
A.1.3 Concentração industrial – IHH / *Industrial concentration – IHH* 109
A.1.4 Formação de mão de obra especializada / *Training of specialized manpower* 109
A.1.5 Mercado de trabalho na indústria / *Job market in the industry* 109
A.2 Aspectos ambientais / *Environmental aspects* 92
A.2.1 Áreas protegidas / *Protected areas* 109
A.2.2 Áreas restritas / *Restricted areas* 109
A.2.3 Uso e ocupação do solo / *Soil use and occupation* 109
A.2.4 Cavidades naturais / *Natural cavities* 110
A.2.5 Sítios arqueológicos / *Archaeological sites* 110
A3 Disponibilidade de infraestrutura / *Infrastructure availability* 110
A.3.1 Malha rodoviária / *Highway network* 110
A.3.2 Malha ferroviária / *Railroad network* 110
A.3.3 Aeroportos / *Airports* 111
A.3.4 Malha dutoviária / *Pipeline network* 111
A.3.5 Portos / *Ports* 111
A.3.6 Infraestrutura de armazenagem / *Warehousing infrastructure* 111
A.3.7 Linhas de transmissão e distribuição instaladas / *Transmission and distribution lines installed* 111
A.3.8 Linhas de transmissão e distribuição planejadas / *Transmission and distribution lines planned* 111
A4 Disponibilidade de recursos / *Resources availability* 112
A.4.1 Área de recurso eólico disponível / *Available wind resource area* 112
A.4.2 Área de recurso solar disponível / *Available solar resource area* 112
A.4.3 Existência de parque eólico e/ou usina solar fotovoltaica / *Existence of wind farm and/or solar photovoltaic plant* 113
A.4.4 Complementariedade eólica e solar / *Wind and solar power complementarity* 113
A.4.5 Recurso hídrico superficial – Quantidade / *Surface water resource – Volume* 113
A.4.6 Recurso hídrico superficial – Qualidade / *Surface water resource – Quality* 114
A.4.7 Recurso hídrico subterrâneo – Quantidade / *Groundwater resource – Volume* 114
A.4.8 Recurso hídrico subterrâneo – Qualidade / *Groundwater resource – Quality* 114
A.4.9 Recurso hídrico costeiro – Marinho / *Coastal water resource – Marine* 114
A.4.10 Recurso hídrico costeiro – Estuarino / *Coastal water resource – Estuarine* 114

**B APÊNDICE B – DADOS DE ENTRADA DO MODELO AHP** *APPENDIX B – AHP MODEL INPUT DATA* **116**

**C APÊNDICE C – COMPOSIÇÃO DOS CENÁRIOS** *APPENDIX C – COMPOSITION OF SCENARIOS* **118**

**REFERÊNCIAS** *REFERENCES* **120**

H2V Atlas Bahia

# O ESTADO DA BAHIA

*BAHIA STATE*

## 1.1 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Localizado na Região Nordeste do Brasil, entre os paralelos 08° 31' 58"S e 18° 20' 55"S e os meridianos 46° 37' 02"W e 37° 20' 28"W, a Bahia é o quinto maior estado brasileiro, com uma área territorial de 564.732 km². O estado faz limite a leste com o Oceano Atlântico, a nordeste com Sergipe e Alagoas, ao norte com Pernambuco e Piauí, a oeste com Goiás e Tocantins e ao sul com Minas Gerais e Espírito Santo[1].

O relevo é caracterizado por planícies, planaltos e depressões em formas tabulares e planas. As maiores elevações ocorrem na região central do estado, ao longo da Serra do Espinhaço e da Chapada Diamantina. Essa região é formada tanto por chapadas quanto por depressões, sendo as chapadas de altitudes acima dos 1.500 m, cobertas predominantemente por vegetação do tipo cerrado, mas também por áreas de campos e arbustos baixos típicos do clima semiárido. Entre as áreas de baixa altitude, distingue-se o Vale do Rio São Francisco, coberto por cerrado, caatinga, veredas e campos úmidos, onde se encontra o reservatório de Sobradinho, um dos maiores lagos artificiais do planeta, de fundamental importância para a regulação e geração de energia elétrica no Nordeste brasileiro[2].

O estado dispõe da maior faixa litorânea do Brasil, com 1.183 km de extensão, onde predominam planícies com baixas altitudes. Essa porção do território baiano é a mais úmida, com significativas áreas de cultivo agrícola e remanescentes de Mata Atlântica. É também onde se localizam as principais áreas urbanas, a exemplo de sua capital Salvador[2].

A Bahia possui ainda um extenso Chapadão Ocidental a oeste da planície do São Francisco, com altitudes entre 800 e 1.000 m e coberto por extensas áreas agrícolas e vegetação natural caracterizada pelo cerrado e pela formação de veredas sobre as linhas de drenagem.

A geologia do estado é caracterizada pela presença de terrenos sedimentares, metassedimentares, cársticos e embasamento cristalino. As características litológicas desses terrenos e a pluviosidade local resultam em cinco domínios hidrogeológicos, que são: Bacias Sedimentares, Formações Cenozoicas, Carbonatos-Metacarbonatos, Embasamento Cristalino e Metassedimentar[3].

Na Bahia são identificados basicamente três generalizações para tipos climáticos[4]:

• *Quente e úmido sem estação seca*: dominante ao longo do litoral, com temperaturas médias anuais próximas de 23 °C e totais pluviométricos superiores a 1.500 mm;

• *Quente e úmido com estação seca de inverno:* predominante no interior do estado, com exceção da parte setentrional e do Vale do São Francisco, apresentando temperaturas médias anuais que variam entre 18 °C nas áreas mais elevadas e 22 °C nas áreas mais baixas, com totais pluviométricos equivalentes a 1.000 mm;

• *Semiárido:* restringe-se ao norte do estado e ao Vale do São Francisco, com temperaturas médias anuais que podem superar 24 °C e pluviosidade inferior a 700 mm.

A Figura 1.1 apresenta uma síntese das características geográficas do estado da Bahia por meio do mosaico de imagens LANDSAT 8 ETM+ sobreposto ao relevo exagerado em 250 vezes.

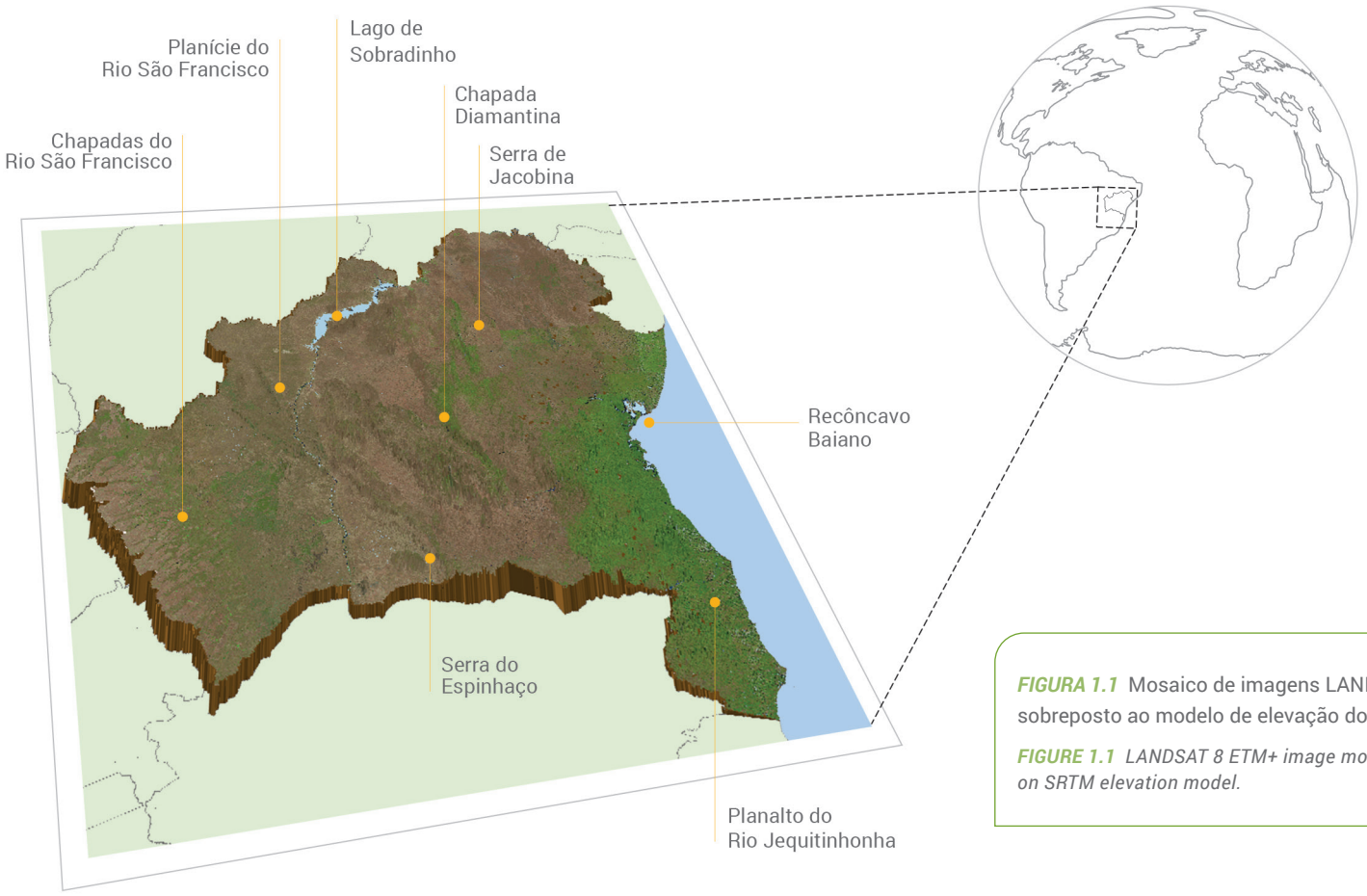



**FIGURA 1.1** Mosaico de imagens LANDSAT 8 ETM+ sobreposto ao modelo de elevação do SRTM.

***FIGURE 1.1*** *LANDSAT 8 ETM+ image mosaic overlaid on SRTM elevation model.*

## 1.1 Geographical description

*Located in the Northeast region of Brazil, between parallels 08° 31' 58 "S and 18° 20' 55 "S and meridians 46° 37' 02 "W and 37° 20' 28 "W, Bahia is the fifth largest Brazilian state, with a land area of 564,732 km². The state is bordered to the east by the Atlantic Ocean, to the northeast by Sergipe and Alagoas states, to the north by Pernambuco and Piauí, to the west by Goiás and Tocantins, and to the south by Minas Gerais and Espírito Santo states.[1]*

*The topography is characterized by plain, plateau, and depressions in tabular and flat forms. The largest elevations occur in the central region of the state, along the Serra do Espinhaço and the Chapada Diamantina. This region is formed by both plateaus and depressions, with the plateaus at altitudes above 1,500 m, covered predominantly by cerrado, but also by areas of fields and low bushes typical of the semi-arid climate. Among the low altitude areas, the São Francisco River Valley stands out, covered by cerrado, caatinga, grasslands and wetlands, where the Sobradinho reservoir is located, one of the largest artificial lakes on the planet, of fundamental importance for regulating and generating electricity in the Brazilian Northeast[2].*

*The state has the longest coastline in Brazil, 1,183 km long, where low altitude plains prevail. This portion of the Bahia State territory is the most humid, with significant areas of agricultural cultivation and remnants of the Atlantic Forest. It is also where the main urban areas are located, such as its capital Salvador[2].*

*Bahia also possesses an extensive western plateau, "Chapadão Ocidental", west of the São Francisco plain, with altitudes between 800 and 1,000 m, covered by extensive agricultural areas and natural vegetation characterized by cerrado and the formation of grasslands on the draining lines.*

*The geology of the state is characterized by the presence of sedimentary, metasedimentary, karst and crystalline basement terrains. The lithological characteristics of these terrains and the local rainfall result in five hydrogeological domains, which are: Sedimentary Basins, Cenozoic Formations, Carbonates-Metacarbonates, Crystalline Embasement and Metasedimentary[3].*

*In Bahia State, three distinct generalizations for climate types are basically identified[4]:*

• Hot and humid without dry season: *dominant along the coast, with average annual temperatures near 23 °C and rainfall totals above 1,500 mm;*

• Hot and humid with a dry winter season: *predominant in the interior of the state, with the exception of the northern part and the São Francisco valley, with average annual temperatures ranging from 18 °C in the higher areas to 22 °C in the lower areas, with rainfall totals equivalent to 1,000 mm;*

• Semi-arid: *restricted to the north of the state and the São Francisco valley, with average annual temperatures that can exceed 24 °C and rainfall of less than 700 mm.*

*Figure 1.1 presents an overview of the geographical aspects of Bahia State by a mosaic of LANDSAT 8 ETM+ images overlayed to the 250 times zoom landscape.*

## 1.2 Economic and Social overview

*Bahia has approximately 15 million inhabitants[5] who live mostly in urban areas, and is the largest state in the Northeast region in terms of population. In 2021, about 41.7% of the population lived in cities with more than 100,000 inhabitants, 17 in total, which is equivalent to a population density of 186.4 inhabitants/km². In the other 400 cities, this value was 16.4 hab./km²[6].*

*The Gross Domestic Product (GDP) of the state, estimated at R$305.3 billion in 2020, is equivalent to 28.3% of the total GDP of the Northeast region and 4.0% of the Brazilian GDP. These indicators position Bahia as the seventh largest Brazilian economy in 2020, and the only state in the Northeast among the ten largest economies in the country. Despite the retraction caused by the COVID-19 pandemic in 2020, the evolution of the GDP in 2021 reached the rate of 4.1%, signaling a perspective of recovery and growth of Bahia's economy[7].*

*The FIRJAN Municipal Development Index (IFDM) of the state is predominantly classified as regular (76.0% of all cities analyzed). Although, Bahia´s municipalities have not achieved high-developed standard, the state has increased the percentage of cities with moderate development. Thus, 95 cities (23.3%) reached this classification in 2016, the highest value since the beginning of the historical series of the IFDM, while low development is restricted to only three (0.7%)[8].*

*The map in Figure 1.2 illustrates the population distribution, wealth production, and socioeconomic development of the territory of Bahia State, showing that these indicators tend to be concentrated in the more developed urban centers.*

## 1.2 PANORAMA SOCIOECONÔMICO

A Bahia possui aproximadamente 15 milhões de habitantes[5] fortemente concentrados em áreas urbanas, sendo o maior estado da Região Nordeste em termos populacionais. Em 2021, cerca de 41,7% da população residia em municípios com mais de 100.000 habitantes, 17 no total, o que equivale a uma densidade populacional de 186,4 hab./km². Nos demais 400 municípios, esse valor era de 16,4 hab./km²[6].

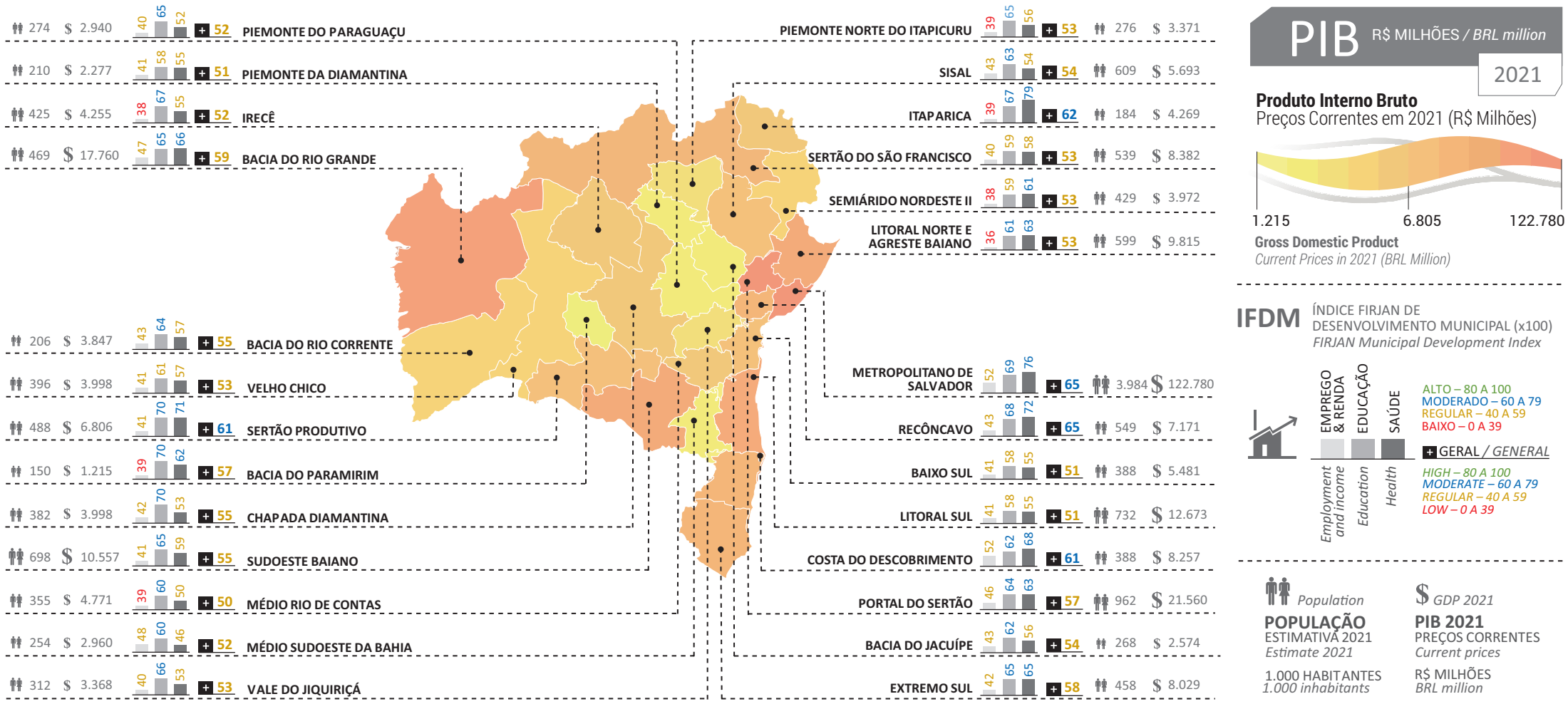
O Produto Interno Bruto (PIB) do estado, avaliado em R$ 305,3 bilhões em 2020, equivale a 28,3% do PIB total da Região Nordeste e 4,0% do PIB brasileiro. Tais indicadores posicionaram a Bahia como a sétima economia brasileira no ano de 2020, sendo o único estado do Nordeste entre as dez maiores economias do país. Apesar da retração ocasionada pela pandemia de COVID-19 em 2020, a evolução do PIB em 2021 alcançou a taxa de 4,1%, sinalizando uma perspectiva de recuperação e crescimento da economia baiana[7].

O Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal (IFDM) do estado é predominantemente classificado como regular (76,0% do total de municípios avaliados). Ainda que nenhum município baiano tenha alcançado alto desenvolvimento, o estado tem ampliado o percentual de municípios com desenvolvimento moderado. Dessa forma, 95 municípios (23,3%) atingiram essa classificação em 2016, maior valor desde o início da série histórica do IFDM, ao passo que o baixo desenvolvimento se restringe a apenas três (0,7%)[8].

O mapa da Figura 1.2 ilustra a distribuição da população, da produção de riquezas e do desenvolvimento socioeconômico do território do estado da Bahia, demonstrando que esses indicativos tendem a se concentrar nos centros urbanos mais desenvolvidos.

***FIGURA 1.2*** Bahia: População, PIB e IFDM[a] por Territórios de Identidade[b].

***FIGURE 1.2*** *Bahia: Population, GDP and IFDM (FIRJAM Municipal Development Index) by Territory of Identity[b].*




FONTE / *SOURCE*: FIRJAN[8], SEI[6], [7].

[a] O ÍNDICE FIRJAN DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL (IFDM) ACOMPANHA ANUALMENTE O DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO DOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS EM TRÊS ÁREAS DE ATUAÇÃO: EMPREGO & RENDA, EDUCAÇÃO E SAÚDE. SENDO UM *PROXY* DO ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO (IDH), É CALCULADO COM BASE EM ESTATÍSTICAS PÚBLICAS OFICIAIS, DISPONIBILIZADAS PELOS MINISTÉRIOS DO TRABALHO, EDUCAÇÃO E SAÚDE. O IFDM APRESENTADO PARA CADA TERRITÓRIO DE IDENTIDADE FOI CALCULADO COMO SENDO O VALOR MÉDIO DOS SEUS RESPECTIVOS MUNICÍPIOS. [b] A DIVISÃO TERRITORIAL DA BAHIA EM TERRITÓRIOS DE IDENTIDADE (27), ADOTADA PELO GOVERNO DO ESTADO, CONSOLIDA-SE ENQUANTO OBJETO DE PLANEJAMENTO E IMPLANTAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS, RECONHECENDO A NECESSIDADE DE DESCENTRALIZAÇÃO E DO ENVOLVIMENTO DOS AGENTES LOCAIS COMO ESSENCIAIS PARA O DESENVOLVIMENTO.

*[a] THE FIRJAN MUNICIPAL DEVELOPMENT INDEX – IFDM ANNUALLY TRACKS THE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF BRAZILIAN COUNTIES IN THREE AREAS: EMPLOYMENT & INCOME, EDUCATION AND HEALTH. BEING A PROXY OF THE HUMAN DEVELOPMENT INDEX – HDI, IT IS CALCULATED BASED ON PUBLIC OFFICIAL STATISTICS, MADE AVAILABLE BY THE MINISTRIES OF LABOR, EDUCATION AND HEALTH. THE IFDM PRESENTED FOR EACH TERRITORY OF IDENTITY WAS CALCULATED AS THE AVERAGE VALUE OF ITS RESPECTIVE COUNTIES. [b] THE TERRITORIAL DIVISION OF BAHIA INTO TERRITORY OF IDENTITY (27), ADOPTED BY THE STATE GOVERNMENT, IS CONSOLIDATED AS AN OBJECT OF PLANNING AND IMPLEMENTATION OF PUBLIC POLICIES, RECOGNIZING THE NEED FOR DECENTRALIZATION AND THE INVOLVEMENT OF LOCAL AGENTS AS ESSENTIAL FOR THE DEVELOPMENT.*

O setor de comércio e serviços da economia baiana responde por 68% do valor adicionado ao PIB, enquanto a indústria e a agropecuária representam 22% e 10%, respectivamente[7]. Enquanto as atividades de comércio e serviços se concentram nas regiões mais urbanizadas, a produção pecuária é predominante no extremo Oeste, Centro-Norte e Sul baiano, representando quase 1/3 do rebanho nacional de ovinos. O agronegócio se destaca no extremo Oeste baiano, especialmente com a produção de soja e milho. Além disso, a região é responsável por 21% do algodão produzido no Brasil, o que posiciona o estado como o 2º maior ofertante da *commodity* no país. A fruticultura também é uma atividade relevante para a economia estadual, com destaque para o Vale do São Francisco, maior região exportadora de frutas do país[9].

A Figura 1.3 ilustra a participação dos grandes setores na economia baiana e os principais indicadores do estado no setor agropecuário. O Mapa 1.1 apresenta as atividades econômicas predominantes na Bahia, evidenciando a distribuição geográfica nos 27 Territórios de Identidade.

*The trade and services sector of Bahia's economy accounts for 68% of the value added to the GDP, while industry and farming represent 22% and 10%, respectively [7]. While trade and services activities are concentrated in more urban regions, livestock production is predominant in the West, North Central and South of Bahia, representing almost 1/3 of the national sheep herd. Agribusiness stands out in the Far West of Bahia, especially with the production of soybeans and corn. Besides this, the region is responsible for 21% of the cotton produced in Brazil, which positions the state as the 2nd largest supplier of the commodity in the country. Fruit-growing is also a relevant activity for the state economy, especially in the São Francisco Valley, the largest fruit-exporting region in the country.[9].*

*Figure 1.3 illustrates the participation of the major sectors in Bahia's economy and the state's main indicators in the agriculture and livestock sector. Map 1.1 presents the most important economic activities in Bahia, showing the geographic distribution in the 27 Territories of Identity.*

***FIGURA 1.3*** Bahia: Participação dos grandes setores na economia e os principais indicadores agropecuários.

***FIGURE 1.3*** *Bahia: participation of the major sectors in the economy and main indicators in the agriculture and livestock sector.*




FONTE / *SOURCE:* SEI[9] (ADAPTADO / *ADAPTED*).

# Atividades econômicas predominantes

*PREDOMINANT ECONOMIC ACTIVITIES*

MAPA/MAP 1.1

ATIVIDADES ECONÔMICAS PREDOMINANTES[a]
*PREDOMINANT ECONOMIC ACTIVITIES[a]*

- Divisas estaduais — *State borders*
- Territórios de identidade — *Territories of Identity*
- Corpos d'água — *Water bodies*
- Rede de drenagem — *Draining line*
- Distritos industriais — *Industrial districts*
- Administração pública — *Public administration*
- Comércio — *Commerce*
- Construção — *Construction*
- Eletricidade + água — *Electricity + water*
- Indústrias extrativistas — *Extractive industries*
- Indústrias de transformação — *Transformation industries*
- Lavoura — *Farming*
- Pecuária — *Livestock*
- Serviços — *Services*

BASE CARTOGRÁFICA / *CARTOGRAPHIC DATABASE:* ANA[11], IBGE[12]–[14], SDE[15], SEI[16], CONHECAFEIRA[17], ESRI[18].

[a] PRINCIPAIS SETORES PRODUTIVOS DO ESTADO DA BAHIA A PARTIR DA CLASSIFICAÇÃO NACIONAL DE ATIVIDADE ECONÔMICA (CNAE).

[a] *MAIN PRODUCTIVE SECTORS OF BAHIA STATE FROM THE NATIONAL CLASSIFICATION OF ECONOMIC ACTIVITY (CNAE).*

Especificamente sobre o setor industrial baiano, 95% do Valor Bruto da Produção Industrial (VBPI) advém das Indústrias de Transformação, enquanto os outros 5% são atribuídos às Indústrias Extrativas, que incluem a extração de carvão mineral, petróleo e gás natural, minerais metálicos, minerais não metálicos e atividades de apoio à extração de minerais[10]. O VBPI total do estado no ano de 2020 correspondeu a R$ 59,5 bilhões[7].

Conforme mostra o Gráfico 1.1, a estrutura produtiva industrial da Bahia é bastante concentrada na fabricação de produtos químicos e petroquímicos, atividade responsável por 1/3 do VBPI do estado e equivalente a 10% do VBPI gerado por essa atividade em todo o país[10]. Além disso, destacam-se os segmentos de Alimentos, Veículos automotores, Metalurgia, Produtos de borracha e material plástico e Celulose e papel.

## 1.3 MATRIZ ELÉTRICA

A Bahia possui uma matriz elétrica predominantemente renovável e diversificada, composta pelas fontes eólica, solar, hídrica, biomassa e fóssil. A crescente implantação de novos empreendimentos, principalmente eólicos e solares fotovoltaicos, evidencia tal vocação. O Gráfico 1.2 ilustra a composição da matriz elétrica baiana a partir das suas diferentes fontes.

A potência total instalada do estado é de 16.890 MW, tendo uma matriz 93,2% renovável. Destacam-se as fontes eólica e hídrica que correspondem, juntas, a 77,4% (13.077 MW) de geração do estado.

A energia elétrica por meio da fonte solar é obtida através da geração centralizada (usinas fotovoltaicas – UFV) e da geração própria de consumidores (geração distribuída – GD). A potência solar instalada representa 12,6% da matriz elétrica no estado, sendo 8,0% (1.359 MW) de UFV e 4,6% (772 MW) de GD.

A geração distribuída de energia solar fotovoltaica é de extrema relevância para a composição da matriz elétrica, visto que atende toda a cadeia de consumidores de energia elétrica (setor público, industrial, rural, comercial e residencial) do estado, sendo mais significativo para os consumidores residencial e comercial, representando respectivamente 56% e 32% de toda a potência de GD instalada atualmente. Ademais, com o aumento da capacidade de GD, as fontes de geração centralizada deixarão, cada vez mais, de atender demandas desses consumidores, podendo ser utilizadas de forma estratégica para suprimento de energia elétrica de outros setores, a exemplo do Hidrogênio Verde.

É notório que as fontes eólica e solar têm ganhado espaço ano após ano, com taxas de crescimento expressivas, enquanto as demais fontes seguem estagnadas, praticamente constantes ao longo do tempo. O Gráfico 1.3 ilustra a evolução da capacidade instalada por fonte no estado da Bahia.

*Specifically about the industrial sector in Bahia, 95% of the Gross Value of Industrial Production (GVIP) comes from the Transformation Industries, while the other 5% is attributed to the Extractive Industries, which include the extraction of mineral coal, oil and natural gas, metallic minerals, non-metallic minerals, and activities supporting the extraction of minerals[10]. The state's total GVIP in the year 2020 corresponded to R$59.5 billion[7].*

*As shown in Chart 1.1, the industrial productive structure of Bahia State is quite concentrated in the chemicals and petrochemicals industry, an activity responsible for 1/3 of the state's GVIP and equivalent to 10% of the GVIP generated by this industry in the whole country[10]. Besides this, we can highlight the segments of Food, Automobile, Metallurgical, Rubber, Plastics and Pulp and paper.*

## 1.3 Electric matrix

*Bahia has a prevailing renewable and diversified electric matrix, composed of wind, solar, hydroelectric, biomass, and fossil sources. The growing implementation of new plants, mainly wind and solar photovoltaic, evidences such vocation. Chart 1.2 illustrates the composition of Bahia's electric matrix from its different sources.*

*The total installed power in the state is 16,890 MW, with 93.2% renewable. The most important sources are wind and hydroelectric power, which together account for 77.4% (13,077 MW) of the state's generation.*

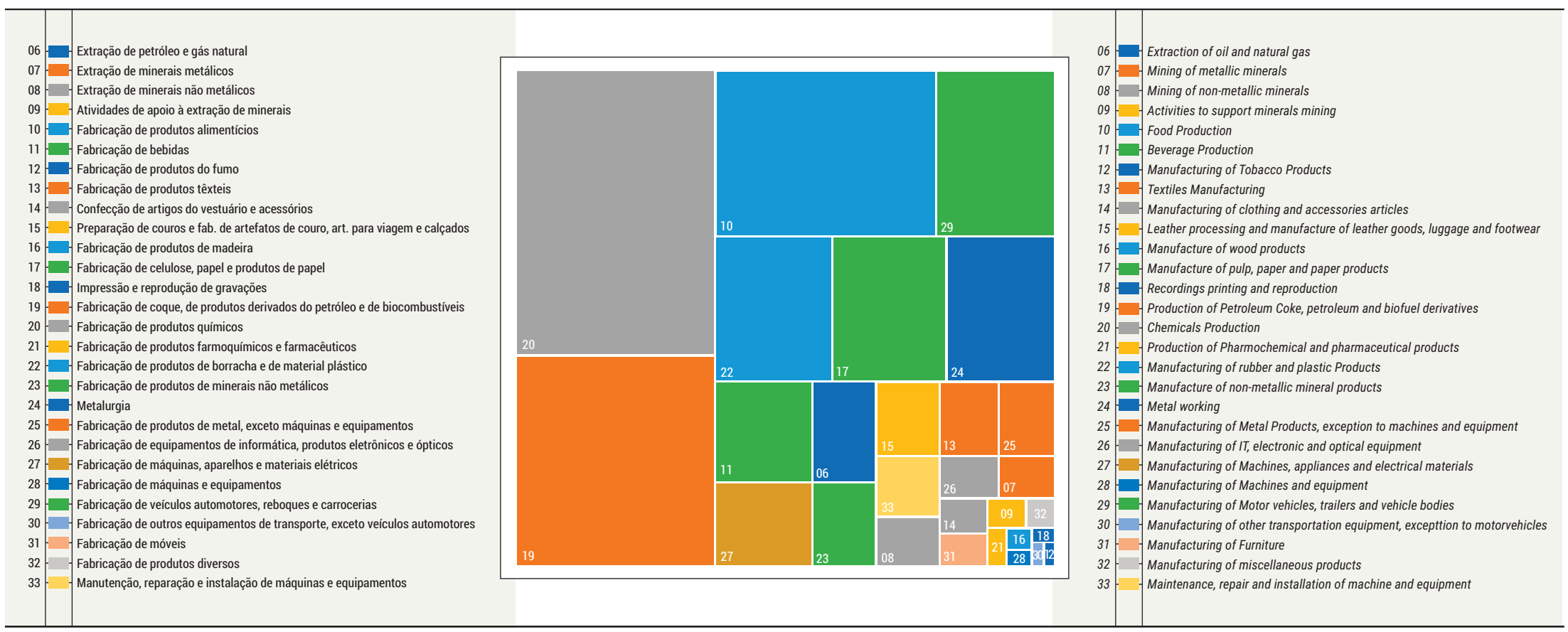
*The electric energy from the solar source is obtained through centralized generation (photovoltaic plants - UFV) and by consumers' own generation (distributed generation - DG). The installed solar power represents 12.6% of the electric matrix in the state, of which 8.0% (1,359 MW) is from UFV and 4.6% (772 MW) from DG.*

*The distributed generation of photovoltaic solar energy is extremely relevant to the composition of the electricity matrix, since it serves the entire chain of consumers of electricity (public sector, industrial, agricultural, commercial and residential) of the state, and most representative for residential and commercial consumers, with 56% and 32% respectively, of all the power of DG installed today. Moreover, with the increase in the DG capacity the centralized generation sources will increasingly no longer meet the demands of these consumers and can be used strategically to supply electricity to other sectors, like Green Hydrogen.*

*It is notorious that wind and solar sources have been gaining space year after year, with expressive growth rates, while the other sources remain stagnant, practically constant over time. Chart 1.3 illustrates the evolution of installed capacity by source in the Bahia State.*

**GRÁFICO 1.1** Bahia: Valor Bruto da Produção Industrial – VBPI[a].

***CHART 1.1*** *Bahia: Gross Value of Industrial Production - GVIP[a].*



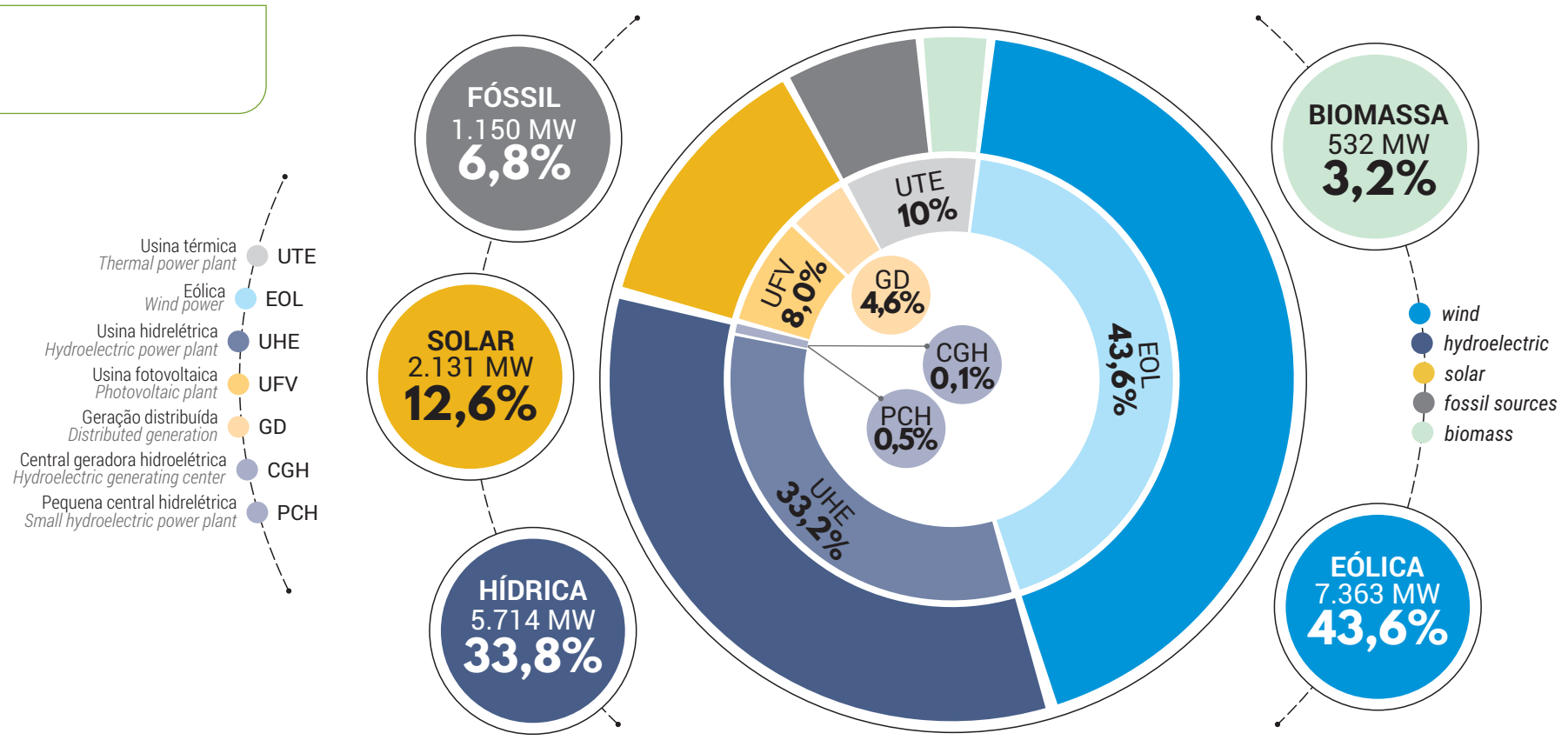

[a] O VALOR BRUTO DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL VARIÁVEL (VBPI) É OBTIDO PELA SOMA DO VALOR DE VENDAS DE PRODUTOS E SERVIÇOS INDUSTRIAIS (RECEITA LÍQUIDA INDUSTRIAL), VARIAÇÃO DOS ESTOQUES DOS PRODUTOS ACABADOS E EM ELABORAÇÃO E PRODUÇÃO PRÓPRIA REALIZADA PARA O ATIVO IMOBILIZADO. O VBPI APRESENTADO FOI CALCULADO A PARTIR DA MÉDIA DOS ANOS DE 2018, 2019 E 2020.

[a] *THE VARIABLE GROSS VALUE OF INDUSTRIAL PRODUCTION ("GVIP") IS OBTAINED BY ADDING THE VALUE OF SALES OF INDUSTRIAL PRODUCTS AND SERVICES (INDUSTRIAL NET REVENUE), CHANGES IN INVENTORIES OF FINISHED PRODUCTS AND WORK IN PROGRESS, AND OWN PRODUCTION MADE FOR FIXED ASSETS. THE GVIP PRESENTED WAS CALCULATED FROM THE AVERAGE OF THE YEARS 2018, 2019 AND 2020.*

# O ESTADO DA BAHIA

***GRÁFICO 1.2*** Bahia: Matriz elétrica.

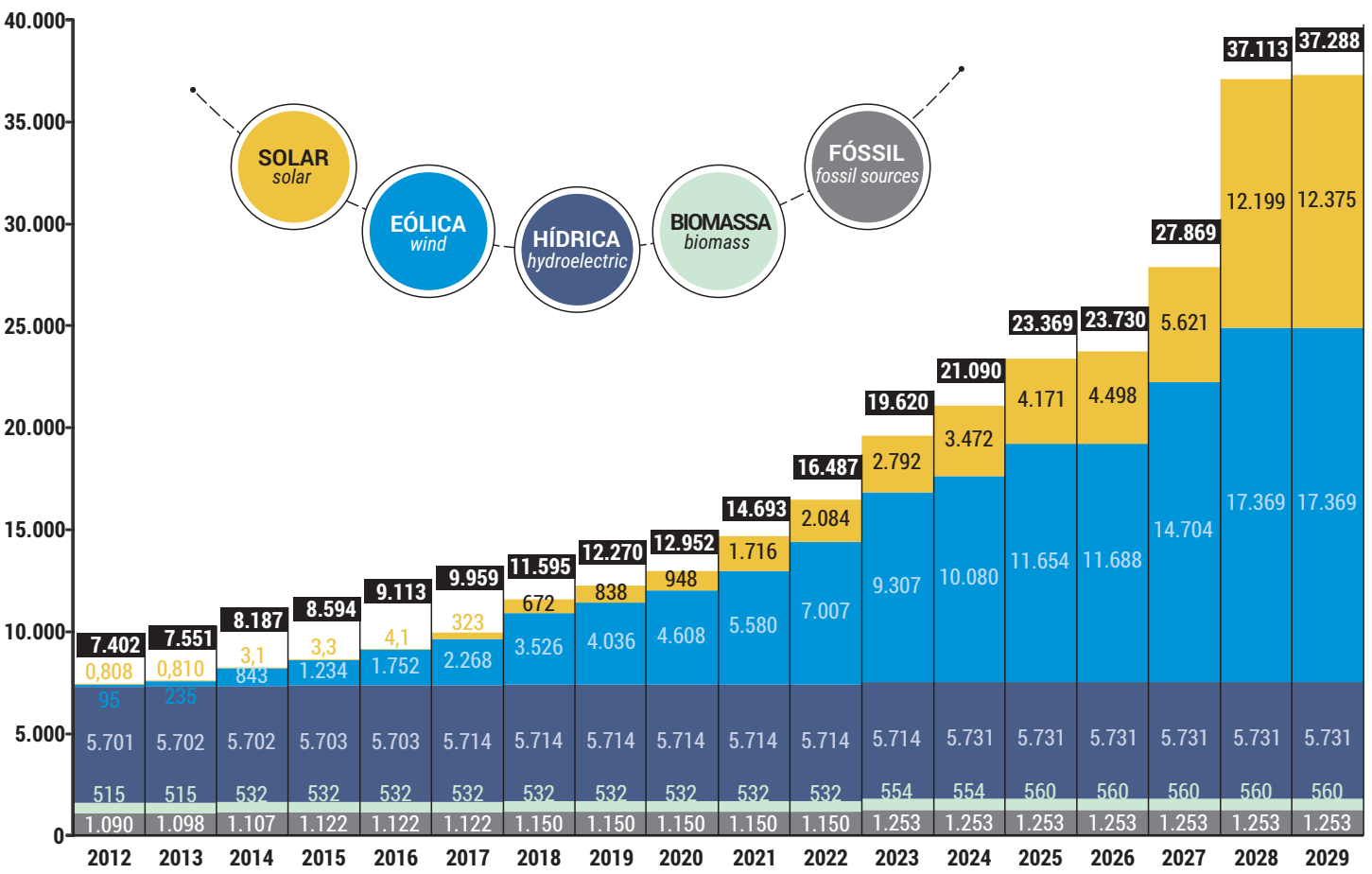
***CHART 1.2*** *Bahia: Electric matrix.*




FONTE / *SOURCE*: ANEEL & SUPEC-SEINFRA/BA[15].
POSIÇÃO EM 21 DE MARÇO DE 2023 / *POSITION ON MARCH 21, 2023.*

***GRÁFICO 1.3*** Bahia: Evolução da capacidade instalada por fonte em MW*.

***CHART 1.3*** *Bahia: Evolution of installed capacity by source in MW*.*




* MEGAWATT.

FONTE / *SOURCE*: ANEEL & SUPEC-SEINFRA/BA[15].
POSIÇÃO EM 21 DE MARÇO DE 2023 / *POSITION ON MARCH 21, 2023.*

*Table 1.1 lists the number of projects and power by source and type of generation currently in operation. Table 1.2 lists the same variables for the contracted projects with construction started or not. With the insertion of the new facilities, mostly wind and solar photovoltaic, the participation of renewable sources will represent about 96% of Bahia's electricity matrix, making the state's grid progressively more renewable.*

A Tabela 1.1 relaciona a quantidade de empreendimentos e potência por fonte e tipos de geração que atualmente estão em operação. A Tabela 1.2 relaciona as mesmas variáveis para os empreendimentos contratados com construção iniciada ou não. Com a inserção dos novos empreendimentos, majoritariamente eólico e solar fotovoltaico, a participação de fontes renováveis representará cerca de 96% da matriz elétrica baiana, tornando o *grid* do estado cada vez mais renovável.

*TABELA 1.1* Empreendimentos de geração de energia elétrica em operação.

*TABLE 1.1 Electricity generation facilities in operation.*

| FONTE *SOURCE* | GERAÇÃO *GENERATION* | QUANTIDADE *QUANTITY* | POTÊNCIA [MW] *POWER* |
|---|---|---|---|
| Eólica / *Wind* | EOL | 270 | 7.363 |
| Solar / *Solar* | UFV | 46 | 1.359 |
| | GD | 88.433 | 772 |
| Hídrica / *Hydroelectric* | UHE | 10 | 5.613 |
| | CGH | 15 | 12 |
| | PCH | 7 | 90 |
| Biomassa / *Biomass* | UTE | 7 | 532 |
| Fóssil / *Fossil* | UTE | 98 | 1.150 |
| **TOTAL** | | **88.886** | **16.891** |

FONTE / *SOURCE*: ANEEL & SUPEC-SEINFRA/BA[15].

FONTES DE GERAÇÃO: EOL – EÓLICA, UFV – USINA FOTOVOLTAICA, GD – GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, UHE – USINA HIDRELÉTRICA, CGH – CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA, PCH – PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA, UTE – USINA TERMELÉTRICA. POSIÇÃO EM MARÇO DE 2023.

*GENERATION SOURCES: EOL - WIND POWER, UFV - PHOTOVOLTAIC PLANT, DG - DISTRIBUTED GENERATION, UHE - HYDROELECTRIC PLANT, CGH - HYDROELECTRIC GENERATING STATION, PCH - SMALL HYDROELECTRIC PLANT, UTE - THERMOELECTRIC PLANT. POSITION IN MARCH 2023.*

*TABELA 1.2* Empreendimentos de geração de energia elétrica contratados[a].

*TABLE 1.2 Contracted electric power generation projects[a].*

| FONTE *SOURCE* | GERAÇÃO *GENERATION* | QUANTIDADE *QUANTITY* | POTÊNCIA [MW] *POWER* |
|---|---|---|---|
| Eólica / *Wind*[b] | EOL | 246 | 10.166 |
| Solar / *Solar* | UFV | 270 | 10.243 |
| Hídrica / *Hydroelectric* | PCH | 1 | 17 |
| Biomassa / *Biomass*[c] | UTE | 2 | 29 |
| Fóssil / *Fossil*[d] | UTE | 5 | 391 |
| **TOTAL** | | **524** | **20.846** |

FONTE / *SOURCE*: ANEEL & SUPEC-SEINFRA/BA[15].

FONTES DE GERAÇÃO: EOL – EÓLICA, UFV – USINA FOTOVOLTAICA, GD – GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, UHE – USINA HIDRELÉTRICA, CGH – CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA, PCH – PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA, UTE – USINA TERMELÉTRICA.
[a] EMPREENDIMENTOS COM CONSTRUÇÃO INICIADA OU NÃO. [b] 05 EMPREENDIMENTOS (159,6 MW) SEM DATA DE OPERAÇÃO PREVISTA. [c] BIOMASSA CONSIDERADA: BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR. [d] FONTES FÓSSEIS CONSIDERADAS: ÓLEO DIESEL E GÁS NATURAL; 02 EMPREENDIMENTOS (288,0 MW) SEM DATA DE OPERAÇÃO PREVISTA. POSIÇÃO EM MARÇO DE 2023.

*GENERATION SOURCES: EOL - WIND POWER, UFV - PHOTOVOLTAIC PLANT, DG - DISTRIBUTED GENERATION, UHE - HYDROELECTRIC PLANT, CGH - HYDROELECTRIC GENERATING STATION, PCH - SMALL HYDROELECTRIC PLANT, UTE - THERMOELECTRIC PLANT. [a] PROJECTS WITH CONSTRUCTION STARTED OR NOT. [b] 05 PROJECTS (159.6 MW) WITH NO START UP DATE SCHEDULED. [c] BIOMASS CONSIDERED: SUGAR CANE PULP. [d] FOSSIL SOURCES CONSIDERED: OIL AND NATURAL GAS; 02 PROJECTS (288.0 MW) WITH NO START UP DATE SCHEDULED. POSITION IN MARCH 2023.*

## 1.4 INFRAESTRUTURA

### 1.4.1 SISTEMA ELÉTRICO

O sistema de transmissão de energia elétrica no estado, operado pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), está conectado ao Sistema Interligado Nacional (SIN) através dos 6.388 km de linhas de transmissão (LTs) de 500 kV, conectando a Região Metropolitana de Salvador e demais regiões geradoras de energia elétrica ao ponto de interconexão dos subsistemas Norte/Nordeste e Sul/Sudeste/Centro-Oeste. A Bahia possui ainda 6.774 km de linhas de 230 kV que, por meio de suas subestações de transmissão, conectam as principais regiões de elevado potencial eólico e solar às linhas de 500 kV. Atualmente o estado possui conexão com todos os estados vizinhos.

Para os próximos anos, os Planos de Expansão da Geração elaborados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) preveem uma ampliação de 25% na capacidade de transmissão de energia elétrica no interior do estado, com a construção de subestações e mais de 5,6 mil km de linhas de transmissão de 500 kV e aproximadamente 1,4 mil km de 230 kV. A Tabela 1.3 relaciona as linhas de transmissão e distribuição existentes e planejadas no estado da Bahia.

## *1.4 Infrastructure*

### *1.4.1 ELECTRIC SYSTEM*

*Energy transmission system in the state, operated by the Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), is connected to the National Interconnected System (SIN) through 6,388 km of transmission lines (LTs) of 500 kV, connecting the metropolitan region of Salvador and other regions that generate electricity to the interconnection point of the North/Northeast and South/Southeast/Central-West subsystems. Bahia also has 6,774 km of 230 kV lines that, through its transmission substations, connect the main regions of high wind and solar potential to the 500 kV lines. The state is currently connected to all neighboring states.*

*For the coming years, the Generation Expansion Plans prepared by the Energy Research Company (EPE -Empresa de Pesquisa Energética) foresee an expansion of 25% in the electric energy transmission capacity in the interior of the state, with the construction of substations and more than 5,600 km of 500 kV transmission lines and approximately 1,400 km of 230 kV. Table 1.3 lists the existing and planned transmission, as well distribution lines in Bahia.*

| STATUS | TIPO *TYPE* | TENSÃO [kV] *POWER* | COMPRIMENTO [km] *LENGTH* | TOTAL [km] |
|---|---|---|---|---|
| Existente *Existing* | Distribuição *Distribution* | 34,5 | 4.563 | 28.432 |
| | | 69 | 7.261 | |
| | | 138 | 3.445 | |
| | Transmissão *Transmission* | 230 | 6.774 | |
| | | 500 | 6.388 | |
| Planejada *Planned* | Transmissão *Transmission* | 230 | 1.399 | 7.048 |
| | | 500 | 5.649 | |
| **TOTAL** | | | | **35.480** |

***TABELA 1.3*** Comprimento de linhas de transmissão e distribuição.

***TABLE 1.3*** *Length of transmission and distribution lines.*

FONTES / *SOURCES*: LINHAS DE TRANSMISSÃO / *TRANSMISSION LINES* (230 E 500 KV): EPE[20]. POSIÇÃO EM ABRIL DE 2023 / *POSITION IN APRIL 2023.*; LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO / *DISTRIBUTION LINES* (34,5; 69 E 138 KV): COELBA NEOENERGIA[21], SUPEC-SEINFRA/BA[22]. POSIÇÃO EM JUNHO DE 2022 / *POSITION IN JUNE 2022.*

***TABELA 1.4*** Polos, centros e distritos industriais.

***TABLE 1.4*** *Industrial Parks, Centers and Districts.*

| DENOMINAÇÃO *NAME* | ÁREA TOTAL *TOTAL AREA* [m²] | EMPRESAS *COMPANY** | VOCAÇÃO INDUSTRIAL *INDUSTRIAL ORIENTATION* |
|---|---|---|---|
| PIC – Polo Industrial de Camaçari *PIC – Camaçari Industrial Park* | 304.789.537 | 124 | Química, petroquímica, fertilizantes, celulose, automotiva, plásticos, química fina, metalurgia *Chemicals, petrochemicals, fertilizers, cellulose, automotive, plastics, fine chemicals, metallurgy* |
| CIA – Centro Industrial de Aratu *CIA – Aratu Industrial Center* | 250.433.947 | 154 | Química, metal-mecânica, fertilizantes, alimentos e bebidas, produtos cerâmicos, plásticos, metalurgia *Chemicals, metalworking, fertilizers, food and beverage, ceramics, plastics, metallurgy* |
| CIS – Centro Industrial do Subaé *CIS – Subaé Industrial Center* | Informação indisponível | 300 | Alimentos e bebidas, metal-mecânica, químico / farmacêutico, construção civil, embalagens e papéis, serviços e comércio, têxtil, reciclagem / *Food and beverage, metalworking, chemical/pharmaceutical, civil construction, packaging and paper, services and trade, textile, recycling* |
| Distrito Industrial de Vitória da Conquista *Industrial District of Vitória da Conquista* | 6.075.000 | 71 | Produtos alimentares, minerais não metálicos, química, metalurgia e mecânica, perfumaria, sabões e velas, bebidas *Food products, non metallic minerals, chemicals, metallurgy and mechanics, perfumery, soaps and candles, beverages* |
| Distrito Industrial de Ilhéus *Industrial District of Ilhéus* | 3.674.174 | 71 | Produtos minerais não metálicos, madeira, produtos alimentares, química, cacau, derivados *Non metallic mineral products, wood, food products, chemicals, cocoa and derivatives* |
| Distrito Industrial de Juazeiro *Industrial District of Juazeiro* | 3.626.012 | 71 | Produtos minerais não metálicos, produtos alimentares e fruticultura, metalurgia, perfumaria, sabões e velas, têxtil *Non metallic mineral products, food and fruit products, metallurgy, perfumery, soaps and candles, textiles* |
| Distrito Industrial de Luís Eduardo Magalhães *Industrial District of Luís Eduardo Magalhães* | 3.120.000 | 43 | Alimentos, metalurgia, têxtil / *Food, metallurgy, textiles* |
| Distrito Industrial de Jequié *Industrial District of Jequié* | 2.489.262 | 37 | Plásticos, calçados, vestuário, produtos alimentares, madeira, perfumaria, sabões e velas *Plastics, footwear, clothing, food products, wood, perfumery, soaps and candles* |
| Distrito Industrial de Alagoinhas *Industrial District of Alagoinhas* | 1.224.160 | 9 | Agroindústria, beneficiamento de couros e peles, pré-moldados, cerâmica industrial, cervejaria e bebidas *Agribusiness industry, leather and fur processing, precast, industrial ceramics, brewing and beverages* |
| Distrito Industrial de Barreiras *Industrial District of Barreiras* | 1.174.953 | 9 | Agroindústria, metalurgia, produtos minerais não metálicos, madeira, papel e papelão, produtos alimentares, bebidas *Agribusiness industry, metallurgy, non metallic mineral products, wood, paper and cardboard, food products, beverages* |
| Distrito Industrial de Teixeira de Freitas *Industrial District of Teixeira de Freitas* | 1.000.820 | 17 | Madeira, movelaria, produtos alimentares, minerais não metálicos, cerâmica *Wood, furniture, food products, non metallic minerals, ceramics* |
| Distrito Industrial de Eunápolis *Industrial District of Eunápolis* | 499.968 | 17 | Produtos de minerais não metálicos, mobiliários, produtos alimentares, madeira *Non-metallic mineral products, furniture, food products, wood* |
| Distrito Industrial de Itapetinga *Industrial District of Itapetinga* | 445.010 | 10 | Calçados e componentes, produtos alimentares, vestuário *Footwear and components, food products, clothing* |
| Distrito Industrial de Santo Antônio de Jesus *Industrial District of Santo Antônio de Jesus* | 201.504 | 15 | Calçados e componentes, produtos alimentares *Footwear and components, food products* |

FONTE / *SOURCE*: INVESTE BAHIA – SDE[15], CENTRO INDUSTRIAL DO SUBAÉ[17].

* DADOS REFLETEM O CENÁRIO DOS POLOS, CENTROS E DISTRITOS INDUSTRIAIS DA BAHIA ENTRE OS ANOS DE 2016 E 2018 / *DATA REFLECTS THE SCENARIO OF INDUSTRIAL PARKS, CENTERS AND DISTRICTS IN BAHIA BETWEEN THE YEARS 2016 AND 2018.*

A ampliação da disponibilidade de linhas de transmissão no estado permitirá o escoamento da energia elétrica gerada por novos empreendimentos eólicos e solares fotovoltaicos, além de permitir pontos de consumo de equipamentos energointensivos da cadeia de suprimentos do Hidrogênio Verde no estado.

O Mapa 1.2 apresenta o sistema de transmissão e distribuição da Bahia. Em conjunto com a malha de transmissão (linhas de 230 kV e 500 kV), é apresentada a malha da rede de distribuição operada pela Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (NEOENERGIA COELBA) (linhas de 34,5 kV, 69 kV e 138 kV), que estende a infraestrutura aos 415 municípios de concessão da companhia. Por determinação da ANEEL, os municípios de Jandaíra e Rio Real são atendidos pela Companhia Sul Sergipana de Eletricidade (SULGIPE)[23]–[25].

## 1.4.2 DISTRITOS INDUSTRIAIS

A indústria baiana está organizada em 14 polos, centros e distritos industriais distribuídos pelo estado (ver Mapa 1.1), grande parte integrada à economia brasileira e mundial. Nesse contexto, destaca-se o Polo Industrial de Camaçari (PIC), localizado a 50 quilômetros da capital Salvador (ver Figura 1.4). É o primeiro complexo petroquímico planejado do país e o maior complexo industrial integrado do Hemisfério Sul, contando com mais de 100 empresas químicas, petroquímicas e de outros ramos de atividade, como indústrias de pneus, celulose solúvel, metalurgia do cobre, têxtil, fertilizantes, energia eólica, fármacos, bebidas e serviços. Possui uma capacidade produtiva instalada acima de 12 milhões de toneladas/ano de produtos químicos e petroquímicos básicos, intermediários e finais, sendo responsável por 15% das exportações totais do estado e 22% do PIB da indústria baiana de transformação[26]. A Tabela 1.4 relaciona os polos, centros e distritos industriais do estado da Bahia, destacando a vocação industrial de cada um deles.

## 1.4.3 DUTOVIAS

A rede de dutos do estado é composta de gasodutos, polidutos, oleodutos, minerodutos e amonioduto, totalizando aproximadamente 3.070 km de extensão[27]. O Gasoduto de Integração Sudeste-Nordeste (GASENE), atualmente operado pela empresa TAG[28], corta todo o território baiano paralelamente a sua faixa litorânea, e é responsável pelo abastecimento de gás natural do estado. O trecho contemplado nos limites geográficos da Bahia possui uma extensão aproximada de 900 km[29].

Um poliduto e dois oleodutos possuem funções de destaque no estado. O ORSUB transporta diesel, gasolina, GLP e etanol entre o Terminal de Madre de Deus e os Terminais de Jequié e Itabuna, com uma extensão de 394 km. O Becan 6" e 8", com 10 km de extensão cada, interliga a Refinaria de Mataripe, antes chamada de Landulpho Alves (RLAM), em São Francisco do Conde, ao Terminal de Candeias, transportando produtos claros e óleo combustível derivados de petróleo[30].

O principal mineroduto do estado é operado pela empresa Dow Química, que movimenta sal-gema por meio de um duto de 51 km de extensão entre a Ilha de Matarandiba, no município de Vera Cruz, e Salvador[31].

*FIGURA 1.4* O Polo Industrial de Camaçari está localizado a 50 quilômetros da capital Salvador. É o maior complexo industrial integrado do Hemisfério Sul.

*FIGURE 1.4* *Camaçari Industrial Park is located 50 kilometers from the capital Salvador. It is the largest integrated industrial complex in the Southern Hemisphere.*

FOTO / *PHOTO*: MANU DIAS/GOVBA

*The expansion of the availability of transmission lines in the state will allow the flow of electric energy generated by new wind and solar photovoltaic facilities, and also consumption points of energy-intensive equipment of the Green Hydrogen supply chain in the state.*

*Map 1.2 presents the transmission and distribution system of Bahia. Together with the transmission system (230 kV and 500 kV lines), the distribution system operated by Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (NEOENERGIA COELBA) is shown (34.5 kV, 69 kV and 138 kV lines), which extends the infrastructure to the 415 cities under the company's concession. By determination of ANEEL, the cities of Jandaíra and Rio Real are served by Companhia Sul Sergipana de Eletricidade (SULGIPE)[23]–[25].*

## 1.4.2 INDUSTRY DISTRICTS

*The industry in Bahia State has been organized into 14 industrial parks, centers and districts, distributed throughout the state (see Map 1.1), most of which are integrated with the Brazilian and world economies. In this context, the Camaçari Industrial Park (PIC – Polo Industrial de Camaçari), located 50 kilometers from the capital Salvador (see Figure 1.4), stands out. It is the first planned petrochemical complex in the country and the largest integrated industrial park in the Southern Hemisphere, with more than 100 chemical and petrochemical companies and other industries, such as tires, soluble cellulose, Copper metallurgy, textiles, fertilizers, wind power, pharmaceuticals, beverages, and services. It has an installed production capacity of over 12 million tons/year of basic, intermediate and final chemical and petrochemical products, and it accounts for 15% of the state's total exports and 22% of Bahia's transformation industry GDP[26]. Table 1.4 lists the industrial parks,centers and districts of Bahia State, emphasizing the industrial orientation of each of them.*

## 1.4.3 PIPELINES

*The state's pipeline network is composed of gas pipelines, multiproducts pipelines, oil pipelines, mineral pipelines and ammonium pipelines, totaling approximately 3,070 km in length[27]. The Integration Gas Pipeline Southeast-Northeast (GASENE - Gasoduto de Integração Sudeste-Nordeste), currently operated by TAG[28], cuts all the Bahia State territory parallel to its coastline, and is responsible for the natural gas supply in the state. The section included in the geographical limits of Bahia has an approximate length of 900 km[29].*

*One multi products pipeline and two oil pipelines play important functions in the state. The ORSUB transports diesel fuel, gasoline, LPG, and ethanol between the Madre de Deus Terminal and the Jequié and Itabuna Terminals, with 394 km length. The BECAN 6" and 8", 10 km long each, interconnects the Mataripe Refinery, formerly named Landulpho Alves (RLAM), in São Francisco do Conde, to Candeias Terminal, transporting clear products and fuel oil derived from petroleum[30].*

*The main mineral pipeline in the state is operated by the company Dow Química, which moves rock salt through a 51 km long pipeline between Matarandiba Island, in the city of Vera Cruz, and Salvador[31].*

*The Bahia ammonia pipeline system is 30 km long and has a storage capacity of approximately 20,000 tons of ammonia, connecting the plant of Unigel Agro Bahia at the Camaçari Petrochemical Complex to the Ammonia Maritime Terminal (TMA) at the Port of Aratu-Candeias[32].*

*Table 1.5 lists the main pipelines installed in Bahia. Map 1.2 shows the State's transmission system, the location of the industrial parks and the layout of the existing pipeline network.*

### *1.4.4 WATERWAY TRANSPORTATION*

*Bahia State has the largest sheltered bay in Brazil, the Bay of All Saints (BTS)[33]. The existence of a naturally deep access channel, which does not need to be dragged, and extremely favorable climate and navigation conditions throughout the year make the BTS one of the best port sites in the world[34], [35].*

*The state's maritime port infrastructure is formed by the organized ports of Salvador, Aratu-Candeias and Ilhéus, along with 11 other private use terminals (TUPs)[36], [37]. It is one of the largest port complexes in the country, having handled a cargo of 40.7 million tons in the year 2022[36]. It is worth mentioning the South Port Project, located in Ilhéus, carried out through Public-Private Partnerships and with the support of the State and Federal Governments, whose goal is to drain about 25 million tons in the 1st year of iron ore produced in the city of Caetité[38]. Table 1.6 lists the organized ports and main TUPs installed in Bahia.*

O sistema de amonioduto baiano tem extensão de 30 km e capacidade de armazenamento de aproximadamente 20 mil toneladas de amônia, interligando o processo produtivo da Unigel Agro Bahia no Polo Petroquímico de Camaçari ao Terminal Marítimo de Amônia (TMA) no Porto de Aratu-Candeias[32].

A Tabela 1.5 relaciona os principais dutos instalados na Bahia. O Mapa 1.2 apresenta o sistema de transmissão do estado e a disposição da rede de dutos existentes.

***TABELA 1.5*** Principais dutovias.

***TABLE 1.5*** *Main pipelines.*

| TIPO *PIPELINE TYPE* | DENOMINAÇÃO *NAME* | OPERAÇÃO *COMPANY* | PRODUTO *PRODUCT* | EXTENSÃO *EXTENSION* [km] |
|---|---|---|---|---|
| Gasoduto / *Gas* | GASENE | TAG | Gás Natural / *Natural gas* | 900 |
| Oleoduto *Oil* | ORSUB | Transpetro | Produtos claros, derivados de petróleo *Diesel, Gasoline, LPG and Ethanol* | 394 |
| | Becan 6" | | Produtos claros e óleo combustível derivados de petróleo *Clear products and fuel oil derived from petroleum* | 10 |
| | Becan 8" | | | 10 |
| Mineroduto *Mineral* | - | Dow Química | Sal-gema / *Rock salt* | 51 |
| Amonioduto *Ammonia* | - | Unigel | Amônia / *Ammonium* | 30 |
| **TOTAL** | | | | **1.395** |

FONTE / *SOURCE*: TAG[28], MAPA DUTOVIÁRIO[29], PETROBRAS[30], ONTL [27], UNIGEL[32].

### *1.4.4 MODAL AQUAVIÁRIO*

O estado da Bahia dispõe da maior baía de águas abrigadas do Brasil, a Baía de Todos-os-Santos (BTS)[33]. A existência de um canal de acesso naturalmente profundo, que não precisa ser dragado, e condições de clima e navegação extremamente favoráveis durante todo o ano, fazem da BTS um dos melhores sítios portuários do mundo[34], [35].

A infraestrutura portuária marítima do estado é formada pelos portos organizados de Salvador (ver Figura 1.5), Aratu-Candeias e Ilhéus, juntamente a outros 11 terminais de uso privado (TUPs)[36], [37]. É um dos maiores complexos portuários do país, tendo movimentado uma carga de 40,7 milhões de toneladas no ano de 2022[36]. Vale destacar o Projeto Porto Sul, situado no município de Ilhéus/BA, realizado através de Parcerias Público-Privada e com o apoio do Governo do Estado e Governo Federal, cujo objetivo é escoar cerca de 25 milhões de toneladas.ano$^{-1}$ de minério de ferro produzido no município de Caetité/BA[38]. A Tabela 1.6 relaciona os portos organizados e principais TUPs instalados na Bahia.

***FIGURA 1.5*** O Porto de Salvador, localizado de forma privilegiada na Baía de Todos-os-Santos, se destaca na movimentação de contêineres, cargas gerais, trigo, celulose e também na recepção de cruzeiros marítimos. Tem posição estratégica por se encontrar a meio caminho da Rota do Mercosul e por possuir acesso irrestrito ao Oceano Atlântico.

***FIGURE 1.5*** *The Port of Salvador, located in a privileged position in the Bay of All Saints, stands out in the handling of containers, general cargo, wheat, cellulose and also in the reception of cruise ships. It occupies a strategic position as it is halfway along the Mercosur Route and has unrestricted access to the Atlantic Ocean.*

FOTO / *PHOTO*: MANU DIAS/GOVBA

*TABELA 1.6* Portos organizados e principais TUPs[a].

*TABLE 1.6 Organized Ports and main TUPs[a].*

| TIPO *TYPE* | NOME *NAME* | OPERADOR *OPERATING COMPANY* | OPERAÇÃO PREDOMINANTE *MAIN OPERATION* | PRINCIPAIS CARGAS MOVIMENTADAS *MAIN CARGOS / PRODUCTS* | MOVIMENTAÇÃO *AMOUNT* | NAVIOS *SHIPS* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PORTOS ORGANIZADOS *ORGANIZED PORTS* | Porto de Salvador *Salvador Port* | CODEBA | Contêiner *Container* | Contêiner, Trigo, Celulose e outras cargas gerais *Container, Wheat, Cellulose and other general cargo* | 5.256.517 ton. | 520 |
| | Porto de Aratu-Candeias *Aratu-Candeias Port* | CODEBA | Granéis líquidos e sólidos *Liquids and solid bulks* | Derivados de petróleo, Produtos químicos, Fertilizantes, Concentrado de cobre e magnesita, Soda cáustica/*Petroleum products, Chemicals, Fertilizers, Copper and magnesite concentrate, Caustic soda* | 6.990.811 ton. | 598 |
| | Porto de Ilhéus *Ilhéus Port* | CODEBA | Granel sólido e carga geral *Solid bulk and general cargo* | Grão de soja, Cacau, Magnesita, Milho, Manganês, Concentrado de níquel e Madeira / *Soybeans, Cocoa, Magnesite, Corn, Manganese, Nickel concentrate and Wood* | 403.696 ton. | 28 |
| TUPs | Terminal Madre de Deus - TEMADRE *Madre de Deus Terminal* | Petrobras Transporte S/A - Transpetro | Granel líquido *Liquid bulk* | Petróleo, Derivados de petróleo, GLP e GNL *Oil, Petroleum products, LPG and LNG* | 28.114.623 ton.[b] | 625[b] |
| | Terminal Regaseificação de GNL- TRBA *LNG Regasification Terminal* | Petróleo Brasileiro S/A - PETROBRAS | Granel líquido *Liquid bulk* | GLP e GNL *LPG and LNG* | | |
| | Terminal Ponta de Laje *Ponta de Laje Terminal* | Ford Motor Company Brasil LTDA | Veículos *Vehicles* | Veículos automotores, tratores, suas peças e componentes e acessórios *Motor vehicles, tractors and respective parts, components and accessories* | | |
| | Terminal Dow Aratu *Dow Aratu Terminal* | Dow Brasil S/A | Granel líquido *Liquid bulk* | Produtos químicos orgânicos e inorgânicos (eteno criogênico, óxido de propeno líquido e propeno líquido), Soda cáustica *Organic and inorganic chemicals (cryogenic ethylene, liquid propene oxide and liquid propene), Caustic soda* | | |
| | Terminal Cotegipe *Cotegipe Terminal* | Terminal Portuário Cotegipe S/A | Granel sólido *Solid bulk* | Grãos, Farelo de soja, Trigo *Grain, Soybean Bran, Wheat* | | |
| | Terminal Gerdau/USIBA Salvador *Gerdau / USIBA Salvador Terminal* | Gerdau Aços Longos S/A | Granel sólido e carga geral *Solid bulk and general cargo* | Minério de ferro bruto ou pelotizado, Sucata de ferro prensada *Crude or pelletized iron ore, pressed iron scrap* | | |
| | Terminal Marítimo de Belmonte *Maritime Terminal of Belmonte* | Veracel Celulose | Fardos *Bales* | Celulose *Cellulose* | Informação não disponibilizada publicamente *Information not publicly available* | |
| | Terminal Aracruz *Aracruz Terminal* | Aracruz Celulose S/A | Fardos e Troncos *Bales and Logs* | Celulose e Madeira *Cellulose and Wood* | | |
| | Terminal BAMIN[c] *BAMIN Terminal[c]* | Bahia Mineração S/A | Granel sólido *Solid bulk* | Minério de ferro *Iron ore* | | |
| | Terminal Porto Sul[c] *Porto Sul Terminal[c]* | Sociedade de Propósito Específico (SPE) | Todos os tipos de granéis e carga geral / *All types of bulk and general cargo* | Minérios, Grãos agrícolas, Óleos, Combustíveis *Ores, Agricultural grains, Oils, Fuels* | | |
| | Terminal Estaleiro Enseada do Paraguaçu *Terminal Shipyard Enseada do Paraguaçu* | Enseada Indústria Naval LTDA | Estaleiro *Shipyard* | Apoio marítimo para Plataformas *Offshore* *Marine Support for Offshore Platforms* | | |

FONTE / *SOURCE*: CODEBA[36], SDE[38], BAHIA PILOTS[42], PORTO SUL[43].

VALORES DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA EM TONELADAS E NÚMERO DE NAVIOS REFERENTE AO ANO CORRENTE DE 2022. [a] TUPS – TERMINAIS DE USO PRIVADO. [b] NÃO EXISTEM DADOS PÚBLICOS DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA DISSOCIADA E NÚMERO DE NAVIOS INDIVIDUALIZADOS PARA CADA UM DOS TUPS LISTADOS, APENAS O SOMATÓRIO DE TODOS ELES. [c] TERMINAIS EM CONSTRUÇÃO.

*CARGO HANDLING FIGURES IN TONS AND NUMBER OF SHIPS FOR THE CURRENT YEAR 2022. [a] TUPS – PRIVATE USE TERMINALS . SOURCE: CODEBA[36], SDE[38], BAHIA PILOTS[42], PORTO SUL[43]. [b] THERE IS NO PUBLIC DATA ON SEPARATE CARGO MOVEMENT AND NUMBER OF VESSELS FOR EACH OF THE LISTED TUPS, BUT ONLY THE SUM OF ALL OF THEM. [c] TERMINALS UNDER CONSTRUCTION.*

*As for the waterway infrastructure, the most important section is the São Francisco waterway between Juazeiro and Ibotirama, which is part of the multimodal export chain of agricultural products produced in the western part of the São Francisco Valley[39]. In this and in the other waterways of the state, there are 14 fluvial ports[40]. Also of special note is Sobradinho Floodgate, 120 meters long and 17 meters wide,[41] which overcomes the uneven level caused by the dam.*

### *1.4.5 ROAD TRANSPORTATION*

*The state has 12,592 km of highways under federal jurisdiction[44], 25,034 km of highways belonging to the state[45] and approximately 100,000 km of roads under city jurisdiction[46]. About 680 km of federal and state highways are currently granted to private administration[47]. Such infrastructure allows the integration of the state with all regions of Brazil and with the Mercosur[38]. Currently, more than 70% of the federal highways in Bahia have maintenance conditions between good and fair[48].*

Quanto à infraestrutura hidroviária, destaca-se no interior do estado o trecho da hidrovia do São Francisco entre Juazeiro e Ibotirama, que faz parte da cadeia multimodal de exportação de produtos agrícolas produzidos no oeste do Vale do São Francisco[39]. Nessa e nas demais hidrovias do estado encontram-se instalados 14 portos fluviais[40]. Destaca-se também a Eclusa de Sobradinho, com 120 metros de comprimento e 17 metros de largura[41], que transpõe o desnível causado pela barragem.

### *1.4.5 MODAL RODOVIÁRIO*

O estado possui 12.592 km de rodovias sob jurisdição federal[44], 25.034 km de rodovias pertencentes à malha estadual[45] e, aproximadamente, 100.000 km de vias sob jurisdição municipal[46]. Cerca de 680 km de rodovias federais e estaduais estão atualmente concedidos à administração privada[47]. Tal infraestrutura permite a integração do estado com todas as regiões do Brasil e com o Mercosul[38]. Atualmente, mais de 70% das rodovias federais no território baiano apresentam condições de manutenção entre bom e regular[48].

FOTO / *PHOTO*: MANU DIAS/GOVBA

***FIGURA 1.6*** A Via Expressa Baía de Todos-os-Santos estabelece uma conexão direta entre a BR-324, importante via de acesso e escoamento de mercadorias, e o Porto de Salvador, desempenhando um papel crucial tanto na resolução dos problemas de tráfego na região quanto no suporte logístico ao Porto.

***FIGURE 1.6*** *The Bay of All Saints Expressway establishes a direct connection between the BR-324 highway, an important access and freight route, and the Port of Salvador, playing a crucial role both by solving the region's traffic problems and by providing logistical support to the Port.*

***TABELA 1.7*** Ferrovias.

***TABLE 1.7*** *Railroads.*

| FERROVIA *RAILROAD* | | EXTENSÃO [km] *EXTENSION* | STATUS |
|---|---|---|---|
| **FCA – Ferrovia Centro-Atlântica / *Atlantic Railroad*** | | **1.871** | **Parcialmente em operação / *Parcial operation*** |
| Linha Norte / *Line North* | Salvador/BA – Propriá/SE | 537 | Desativada / *Off operation* |
| Linha Centro / *Line Center* | Alagoinhas/BA – Juazeiro/BA e Petrolina/PE | 450 | Desativada / *Off operation* |
| Linha Sul / *Line South* | Simões Filho/BA – Monte Azul/MG | 854 | Em operação / *Operating* |
| Ramal Campo Formoso *Campo Formoso Branch line* | Antônio Gonçalves/BA – Campo Formoso/BA | 30 | Em operação / *Operating* |
| **FIOL – Ferrovia de Integração Oeste-Leste / *West/East Integration Railroad*** | | **1.896** | **Em obra / *Under construction*** |
| Trecho I / *Section I* | Ilhéus/BA – Caetité/BA | 537 | 75% concluída / *75% concluded* |
| Trecho II / *Section II* | Caetité/BA – Barreiras/BA | 485 | 45% concluída / *45% concluded* |
| Trecho III / *Section III* | Barreiras/BA – Figueirópolis/TO | 505 | Em revisão de estudos e projetos / *In review of studies and projects* |

FONTE / *SOURCE*: PPI[49].

## 1.4.6 MODAL FERROVIÁRIO

A malha ferroviária baiana é atualmente composta pelas ferrovias Centro-Atlântica (FCA) e de Integração Oeste-Leste (FIOL). A FCA conecta os portos de Salvador e Aratu-Candeias à cidade de Juazeiro, ao estado de Sergipe e ao estado de Minas Gerais, passando pela mesorregião do Centro-Sul baiano, totalizando 1.871 km de extensão de linha. Já a FIOL está em construção e entrará em operação entre 2026 e 2027 (ver Figura 1.7), conectando o Porto de Ilhéus e Porto Sul (em implantação) à malha da Ferrovia Norte-Sul, em Figueirópolis/TO, passando pelas cidades de Caetité e Barreiras, no oeste do estado da Bahia[49], [50]. A Tabela 1.7 relaciona as ferrovias do estado e seus respectivos trechos.

## 1.4.7 MODAL AEROVIÁRIO

A oferta atual de infraestrutura aeroportuária no estado abrange um conjunto de 38 aeroportos públicos, 203 aeródromos privados e 63 helipontos[51]. Dentre os aeroportos públicos, sete estão preparados para receber aeronaves de grande e médio porte, localizados nos municípios de Salvador, Porto Seguro, Ilhéus, Vitória da Conquista, Barreiras, Feira de Santana, Paulo Afonso e Juazeiro. Os dois primeiros operam voos internacionais regulares. A Tabela 1.8 relaciona os principais aeroportos do estado.

Apontado como o "Aeródromo Mais Sustentável do Brasil", o Aeroporto Deputado Luís Eduardo Magalhães (Salvador/BA) se destaca pelo seu pioneirismo em ações de preservação ambiental, sendo o primeiro do Brasil a reutilizar 100% da água consumida, a não dispensar resíduos sólidos para aterros sanitários e a ter uma usina solar fotovoltaica, com 4,2 MW de potência. Ações para redução de emissão de carbono viabilizaram receber a Certificação de Acreditação em Carbono (ACA *Certification*) pelo Conselho Internacional de Aeroportos (ACI)[52]. Atualmente é o 8º colocado no *ranking* de Aeródromos, que considera os 32 principais aeroportos brasileiros, apresentando uma média de 191 voos por dia[53]. Em 2022, movimentou mais de 6,6 milhões de passageiros e cerca de 8 mil toneladas em produtos[52].

O Mapa 1.3 apresenta os modais de transporte do estado, com a localização dos principais portos, aeroportos, rodovias, ferrovias e hidrovias.

*TABELA 1.8* Aeroportos.

*TABLE 1.8 Airports.*

| AEROPORTO *AIRPORT* | MUNICÍPIO ATENDIDO *CITY* | OPERAÇÃO *OPERATION* | CONTROLE *CONTROL* | PORTE* *SIZE** |
|---|---|---|---|---|
| Deputado Luís Eduardo Magalhães | Salvador | Internacional / *International* | Federal | Classe / *Class IV* |
| Porto Seguro | Porto Seguro | Internacional / *International* | Estadual / *State* | Classe / *Class III* |
| Bahia - Jorge Amado | Ilhéus | Nacional / *Domestic* | Estadual / *State* | Classe / *Class II* |
| Glauber de Andrade Rocha | Vitória da Conquista | Nacional / *Domestic* | Estadual / *State* | Classe / *Class II* |
| Dom Ricardo Weberberger | Barreiras | Nacional / *Domestic* | Estadual / *State* | Classe / *Class I* |
| João Durval Carneiro | Feira de Santana | Nacional / *Domestic* | Estadual / *State* | Classe / *Class I* |
| Una/Comandatuba | Una | Nacional / *Domestic* | Estadual / *State* | Classe / *Class I* |
| Horácio de Mattos | Lençóis | Nacional / *Domestic* | Estadual / *State* | Classe / *Class I* |
| Valença | Valença | Nacional / *Domestic* | Estadual / *State* | Classe / *Class I* |
| Bom Jesus da Lapa | Bom Jesus da Lapa | Nacional / *Domestic* | Estadual / *State* | Classe / *Class I* |
| Paulo Afonso | Paulo Afonso | Nacional / *Domestic* | Estadual / *State* | Classe / *Class I* |

FONTE / *SOURCE*: ANAC[51].

* CLASSE I: AERÓDROMO EM QUE O NÚMERO DE PASSAGEIROS PROCESSADOS SEJA INFERIOR A 200.000 (DUZENTOS MIL); CLASSE II: IGUAL OU SUPERIOR A 200.000 (DUZENTOS MIL) E INFERIOR A 1.000.000 (UM MILHÃO); CLASSE III: IGUAL OU SUPERIOR A 1.000.000 (UM MILHÃO) E INFERIOR A 5.000.000 (CINCO MILHÕES); CLASSE IV: IGUAL OU SUPERIOR A 5.000.000 (CINCO MILHÕES)[54].

** CLASS I: AIRPORT WHERE THE NUMBER OF PASSENGERS TRANSPORTED IS LESS THAN 200,000 (TWO HUNDRED THOUSAND); CLASS II: EQUAL OR HIGHER THAN 200,000 (TWO HUNDRED THOUSAND) AND LESS THAN 1,000,000 (ONE MILLION); CLASS III: EQUAL OR HIGHER THAN 1,000,000 (ONE MILLION) AND LESS THAN 5,000,000 (FIVE MILLION); CLASS IV: EQUAL OR HIGHER THAN 5,000,000 (FIVE MILLION)[54].*

## 1.4.6 RAILROAD TRANSPORTATION

*The railroad network in Bahia is currently composed of the Centro-Atlântica railroad (FCA) and the West-East Integration railroad (FIOL). The FCA connects the ports of Salvador and Aratu-Candeias to the city of Juazeiro, the state of Sergipe, and the state of Minas Gerais, passing through the south-central region of Bahia, totaling 1,871 km of line length. The FIOL is under construction and its operation will start in 2026, connecting the ports of Ilhéus and Porto Sul (under construction) to the North-South railroad network, in Figueirópolis/TO, passing through the cities of Caetité and Barreiras, in western Bahia [49], [50]. Table 1.7 lists the railroads in the State and their respective rail segments.*

## 1.4.7 AIRWAY TRANSPORTATION

*The current offer of airport infrastructure in the state consists of 38 public airports, 203 private airfields and 63 helipads[51]. Among the public airports, seven are prepared to receive large and medium-sized aircraft, located in the cities of Salvador, Porto Seguro, Ilhéus, Vitoria da Conquista, Barreiras, Feira de Santana, Paulo Afonso and Juazeiro. The first two operate regular international flights. Table 1.8 lists the main airports in the state.*

*Acclaimed as the "Most Sustainable Aerodrome in Brazil", the Deputado Luís Eduardo Magalhães Airport (Salvador/BA) stands out for its pioneering environmental preservation actions, as the first in Brazil to reuse 100% of the water consumed, not to dispose solid waste to landfills and to have a photovoltaic solar power plant, with 4.2 MW of power. Actions to reduce carbon emissions made it possible to receive the Carbon Accreditation Certification (ACA Certification) from the International Airports Council (ACI)[52]. It is currently ranked 8th in the Aerodrome Ranking, which considers the 32 main Brazilian airports, with an average of 191 flights per day[53]. In 2022 it transported more than 6.6 million passengers and about 8 thousand tons in products[52].*

*Map 1.3 shows the transportation modals in the state, with the location of the main ports, airports, highways, railroads and waterways.*

H2V Atlas BaHia

# Sistema elétrico e dutovias

*ELECTRICITY SYSTEM AND PIPELINES*

MAPA/MAP 1.2

- Conj. de n usinas fotovoltaicas em construção iniciada e/ou não iniciada — *Photovoltaic plants under construction started and/or not started*
- Conj. de n usinas fotovoltaicas em operação — *Photovoltaic plants in operation*
- Conj. de n parques eólicos em construção iniciada e/ou não iniciada — *Wind farms under construction started and/or not started*
- Conj. de n parques eólicos em operação — *Wind farms in operation*
- Subestações em operação 500 e 230 kV — *Substation in operation 500 and 230 kV*
- Subestações em operação - 138, 69 e 34,5 kV — *Substation in operation - 138, 69 and 34,5 kV*
- Subestações planejadas 500 e 230 kV — *Planned substations 500 and 230 kV*
- Usinas hidrelétricas em operação - UHE — *Hydroelectric power plants in operation - UHE*
- Central geradora hidroelétrica - CGH — *Hydroelectric generating center - CGH*
- Pequenas centrais hidrelétricas em operação - PCH — *Small hydroelectric power plants in operation - PCH*
- Usinas térmicas em operação - UTE — *Thermal power plants in operation - UTE*
- Mineroduto — *Mineral pipeline*
- Oleoduto — *Oil pipeline*
- Gasoduto — *Gas pipeline*
- LT 500 kV em operação — *500 kV LT operating*
- LT 500 kV planejada — *500 kV LT planned*
- LT 230 kV em operação — *230 kV LT operating*
- LT 230 kV planejada — *230 kV LT planned*
- LT 138 kV em operação — *138 kV LT operating*
- LT 69 kV em operação — *69 kV LT operating*
- LT 34,5 kV em operação — *34.5 kV LT operating*
- Corpos d'água — *Water bodies*
- Divisas estaduais — *State borders*
- Rede de drenagem — *Draining line*

ESCALA 1:3 300 000
Projeção Albers Cônica
Sistema de Referência Cartográfica
SIRGAS 2000
0 25 50 75 100 km

BASE CARTOGRÁFICA / *CARTOGRAPHIC DATABASE:* ANA[11], ANEEL & SUPEC-SEINFRA/BA[19], COELBA[21], EPE[20], ESRI[18], IBGE[13],[14], ONTL[27].
LINHAS DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO COM TENSÃO A PARTIR DE 34,5 KV / *TRANSMISSION AND DISTRIBUTION LINES WITH VOLTAGE FROM 34.5 KV.*



Sistema FIEB | SENAI CIMATEC
PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO
BAHIA
SECRETARIA DO MEIO-AMBIENTE
SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DO PLANEJAMENTO
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

H2V Atlas BaHia

# Modais de transporte

*TRANSPORTATION MODALS*

MAPA/MAP 1.3

- Rodovia pavimentada — *Paved Road*
- Rodovia implantada — *Established Road*
- Rodovia em leito natural — *Natural-bed road*
- Rodovia planejada — *Planned Road*
- Hidrovias — *Waterways*
- Ferrovias implantadas — *Established Railroads*
- Ferrovias planejadas — *Planned Railroads*
- Aeroporto — *Airport*
- Porto organizado — *Organized Port*
- Porto público — *Public Port*
- Terminal de uso privado — *Private Port*
- Sedes municipais — *City headquarters*
- Rede de drenagem — *Draining line*
- Corpos d'água — *Water Bodies*
- Divisas estaduais — *State Borders*

BASE CARTOGRÁFICA / *CARTOGRAPHIC DATABASE:* ANA[11], ANAC[51], ANTAQ[55], DNIT[44], [45], ESRI[18], IBGE[13], [14], [56], ONTL[27], SEI[57].

FERROVIAS IMPLANTADAS REPRESENTAM AS QUE ESTÃO EM OPERAÇÃO OU DESATIVADAS; FERROVIAS PLANEJADAS REPRESENTAM AS QUE ESTÃO EM OBRAS OU REVISÃO DE ESTUDOS E PROJETOS / *ESTABLISHED RAILROADS REPRESENT THOSE THAT ARE IN OPERATION OR INACTIVE; PLANNED RAILROADS REPRESENT THOSE UNDER CONSTRUCTION OR REVIEWING STUDIES AND PROJECTS.*

ESCALA 1:3 300 000
Projeção Albers Cônica
Sistema de Referência Cartográfica
SIRGAS 2000
0 25 50 75 100 km

Sistema FIEB | SENAI CIMATEC
PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO
BAHIA
SECRETARIA DO MEIO-AMBIENTE
SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DO PLANEJAMENTO
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

H2V Atlas Bahia

# CONCEITOS E TECNOLOGIAS

*CONCEPTS & TECHNOLOGIES*

## 2.1 PROPRIEDADES QUÍMICAS E HISTÓRICO

O hidrogênio é o elemento químico mais abundante do universo. É representado pelo símbolo H, possui número atômico 1, sendo o elemento mais leve da tabela periódica (Figura 2.1). Em termos químicos, o hidrogênio é um gás diatômico (incolor, inodoro, insípido e inflamável), o que significa que cada molécula de hidrogênio é composta por dois átomos de hidrogênio ligados entre si por uma ligação covalente simples, sendo nesse estado altamente reativo. É encontrado em uma variedade de compostos químicos, incluindo a água e muitos hidrocarbonetos. A palavra Hidrogênio vem do grego *hidro* e *genes*, que significa "gerador de água"[1].

O hidrogênio ($H_2$) foi identificado pela primeira vez como um elemento distinto no século XVIII, ano de 1766, pelo cientista britânico Henry Cavendish, depois que separou o gás hidrogênio ao reagir zinco metálico com ácido clorídrico. Em uma demonstração para a Royal Society de Londres, Cavendish aplicou uma faísca ao gás hidrogênio produzindo água. Essa descoberta o levou a descobrir mais tarde que a água ($H_2O$) é composta de hidrogênio e oxigênio[2].

O $H_2$ tem sido utilizado pelo homem para diversos fins e aplicações ao longo da história. Uma das primeiras aplicações conhecidas foi seu uso, em meados do século XVIII, como gás para inflar balões aerostáticos o que permitia que flutuassem no ar. O primeiro voo aerostático, da história foi realizado em Versalhes pelos irmãos Montgolfier (Figura 2.2), inventores franceses, marcando o dia 19 de setembro de 1783 como uma data-chave na história. Já no século XIX, essa tecnologia foi amplamente utilizada para fins científicos e militares[3].

***FIGURA 2.1*** Propriedades químicas do hidrogênio.

***FIGURE 2.1*** *Chemical properties of hydrogen.*

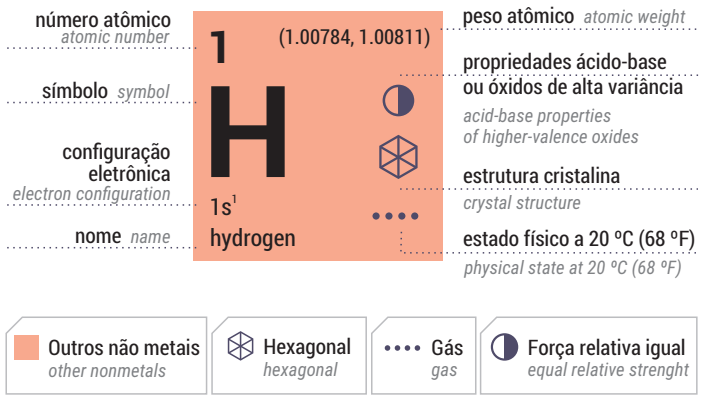



***FIGURA 2.2*** Primeiro voo aerostático da história, realizado pelo balão Montgolfier em 1783. Versalhes, França.

***FIGURE 2.2*** *First aerostatic flight in history, performed by the Montgolfier balloon in 1783. Versailles, France.*

FONTE / *SOURCE*: WELLCOME LIBRARY, LONDON. WELLCOME IMAGES IMAGES@WELLCOME.AC.UK HTTP://WELLCOMEIMAGES.ORG. *COPYRIGHTED WORK AVAILABLE UNDER CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION ONLY LICENCE* CC BY 4.0 HTTP://CREATIVECOMMONS.ORG/LICENSES/BY/4.0/

## 2.1 CHEMICALS: PROPERTIES & HISTORY

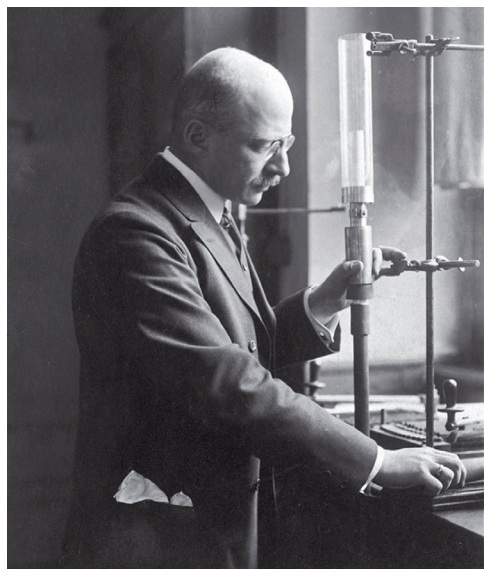
*Hydrogen is the most abundant chemical element in the Universe. The symbol that represents Hydrogen is H and its atomic number is 1, it is the lightest element of the Periodic Table (Figure 2.1). In chemistry language, hydrogen is a diatomic gas (colorless, odorless, insipid and flammable), which means that each molecule of hydrogen is composed by two atoms of hydrogen connected by a simple covalent link, being highly reactive in this state. Hydrogen can be found in a number of chemical composites, including water and several hydrocarbons. The word hydrogen comes from Greek hidro and genes, which means "water generator"[1].*

*Hydrogen ($H_2$) was first identified as a distinct element in the 18th century, 1766, by the British scientist Henry Cavendish, after he separated hydrogen gas by reacting metallic zinc with hydrochloric acid. In a demonstration for the Royal Society of London, Cavendish applied a spark to the hydrogen gas, producing water. This discovery led him to later discover that water ($H_2O$) is composed of hydrogen and oxygen[2].*

*$H_2$ has been used by man for various purposes and applications throughout history. One of the earliest known applications was its use, in the mid-18th century, as a gas to inflate aerostatic balloons and allow them to float in the air. The first aerostatic flight in history was performed in Versailles by the Montgolfier brothers (Figure 2.2), French inventors, marking September 19, 1783 as a key date in history. As early as the 19th century, this technology was widely used for scientific and military purposes[3].*

*FIGURA 2.3* Fritz Haber em pé no laboratório fazendo um teste de chama, 1905.

*FIGURE 2.3* *Fritz Haber performing lab flame testing, 1905.*



FONTE: ARQUIVOS DA SOCIEDADE MAX PLANCK, BERLIM. FOTO: I/3, AUTOR DESCONHECIDO[5] / *SOURCE: MAX PLANCK SOCIETY ARCHIVES, BERLIM, PHOTO: I/3, AUTHOR UNKNOWN[5].*

Em 1904, Fritz Haber (Figura 2.3) sintetizou a amônia ($NH_3$, ou amoníaco) a partir do nitrogênio ($N_2$) e do hidrogênio ($H_2$), sendo o primeiro marco mundial na fabricação de fertilizantes nitrogenados e, consequentemente, na solução de problemas relacionados à fertilização do solo e a produção de alimentos. Seu processo foi aprimorado por Carl Bosch e, por isso, chamado de "processo Haber-Bosch". Em 1912, a obtenção de amoníaco pelo processo Haber-Bosch, ainda em etapa piloto, já produzia uma tonelada de amônia por dia, quase a totalidade de amoníaco necessário para a produção de fertilizantes à época. Além disso, o fato de o amoníaco poder ser convertido em compostos úteis na síntese de explosivos (TNT e nitroglicerina, por exemplo) fez com que a sua exploração ganhasse escala ao longo da Primeira Guerra Mundial, o que gera muita discussão desde essa época, pois uma descoberta para combater a fome também foi usada para fins militares. Pelo desenvolvimento deste processo e pela sua industrialização, Fritz Haber e Carl Bosch foram laureados com o Prêmio Nobel de Química em 1918 e 1931, respectivamente[5], [6].

Ao longo das décadas seguintes, o hidrogênio foi utilizado principalmente como um gás de laboratório e em aplicações industriais, como matéria-prima para a produção de amônia, metanol e outros produtos químicos.

Na década de 1930, os alemães desenvolveram um programa de pesquisa sobre o hidrogênio como combustível para aviões, mas o projeto foi interrompido durante a Segunda Guerra Mundial. Após a guerra, o uso do hidrogênio como combustível para veículos ganhou algum interesse, mas a falta de infraestrutura e tecnologias adequadas limitou sua adoção. Na década de 1970, o aumento dos preços do petróleo renovou o interesse no hidrogênio como fonte de energia alternativa, e vários países iniciaram programas de pesquisa sobre o tema[7].

Atualmente, o hidrogênio é considerado uma das principais fontes de energia do futuro, especialmente como combustível para veículos elétricos movidos por células a combustível (Figura 2.4), que produzem eletricidade a partir da reação entre hidrogênio e oxigênio[8]. O hidrogênio também é usado em usinas de energia elétrica, onde é queimado para gerar calor e produzir vapor para movimentar turbinas. Além disso, o hidrogênio pode ser produzido a partir de fontes renováveis, como energia solar e eólica, tornando-se uma opção mais sustentável em comparação com os combustíveis fósseis[9]. A sua versatilidade e abundância têm feito dele um elemento-chave em diversas áreas da ciência e da tecnologia.

*In 1904, Fritz Harber (Figure 2.3) synthesized ammonia ($NH_3$, or ammonia) from nitrogen ($N_2$) and hydrogen ($H_2$), this was the first worldwide milestone in the manufacture of nitrogen fertilizers and, consequently in the solution of problems related to soil fertilization and food production. His process has been improved by Carl Bosch and therefore called the "Haber-Bosch process". In 1912, obtaining ammonia by the Haber-Bosch process, still in the pilot stage, they started producing 1 ton of ammonia per day, almost all the ammonia needed for fertilizer production at that time. In addition, the fact that ammonia can be converted into compounds useful in the synthesis of explosives (TNT and nitroglycerin, for example) caused its exploitation to gain scale during the First World War, which has generated much discussion since that time, as a discovery with the primary purpose to fight hunger was being also used for military purposes. For the development of this process and its industrialization, Fritz Haber and Carl Bosch were awarded the Nobel Prize in Chemistry, in 1918 and 1931 respectively[5], [6].*

*Over the following decades, hydrogen was used primarily as a laboratory gas and in industrial applications as a feedstock for the production of ammonia, methanol, and other chemicals.*

*In the 1930s, the Germans developed a research program on hydrogen as fuel for airplanes, but the project was halted during World War II. After the war, the use of hydrogen as vehicle fuel gained some interest, but the lack of infrastructure and appropriate technologies limited its adoption. In the 1970s, rising oil prices renewed interest in hydrogen as an alternative energy source, and several countries initiated research programs on the subject[7].*

*Currently, hydrogen is considered one of the main energy sources of the future, especially as a fuel for electric vehicles powered by fuel cells (Figure 2.4), which produce electricity from the reaction of hydrogen with oxygen[8]. Hydrogen is also used in the production of electricity in hydrogen power plants, where it is burned to generate heat and produce steam to drive turbines. In addition, hydrogen can be produced from renewable sources, such as solar and wind power, making it a more sustainable option compared to fossil fuels[9]. Its versatility and abundance have made it a key element in several areas of science and technology.*

*FIGURA 2.4* Conceito de veículo movido por célula a combustível alimentada por hidrogênio. Essa tecnologia permite combinar o hidrogênio e o oxigênio para gerar eletricidade, sem vibrações, sem ruídos, sem combustão e, ainda, sem emissão de material particulado.

*FIGURE 2.4* *Concept of a vehicle moved by a fuel cell powered by hydrogen. This technology allows hydrogen and oxygen to be combined and generate electricity without vibration, noise, combustion, or particle emissions.*

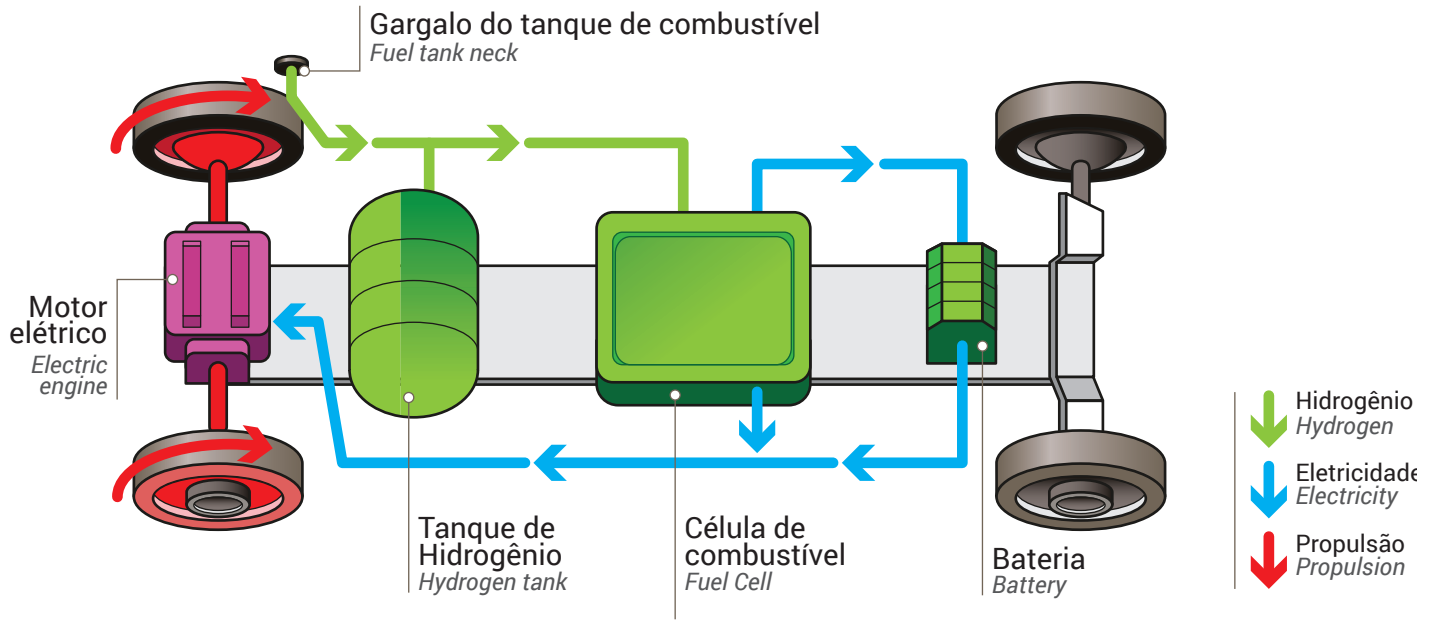



ILUSTRAÇÃO / *ILLUSTRATION*: LEO GIBRAN

FONTE / *SOURCE*: FISACAR[10] (ADAPTADO / *ADAPTED*).

## 2.2 HIDROGÊNIO COMO VETOR DE DESCARBONIZAÇÃO

Com o aumento da demanda energética mundial e a crescente pressão para o controle das emissões poluentes, a busca por soluções compatíveis com o desenvolvimento sustentável é uma necessidade[11]. As pautas discutidas na 21ª Conferência do Clima (COP 21) em 2015, que culminaram no Acordo de Paris, representam um pacto global para combater as mudanças climáticas, além de estabelecerem metas para a redução da emissão de gases do efeito estufa. O principal objetivo é limitar o aumento da temperatura global em até 2 °C acima dos níveis pré-industriais (ver Figura 2.5). Para atingir essa meta, é necessário promover a descarbonização do sistema energético mundial. Segundo o mais recente Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) publicado em 2022, para combater o aquecimento global e reduzir impactos climáticos de grandes magnitudes, é crucial que haja uma expansão do uso de energia limpa e investimentos em inovação para a descarbonização da indústria[12], que ainda é muito dependente de combustíveis fósseis altamente poluentes.

No atual cenário, o hidrogênio surge como um "elo perdido" que apresenta grande potencial para suprir demandas energéticas renováveis em setores nos quais a eletrificação é complexa, tais como transporte, indústria e processos que requerem elevada quantidade de calor[13]. Adicionalmente, o emprego do hidrogênio produzido a partir de energia renovável para produção de "amônia verde" é uma das grandes apostas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa no agronegócio, diminuindo assim os efeitos ambientais da produção de amônia para fertilização de solos.

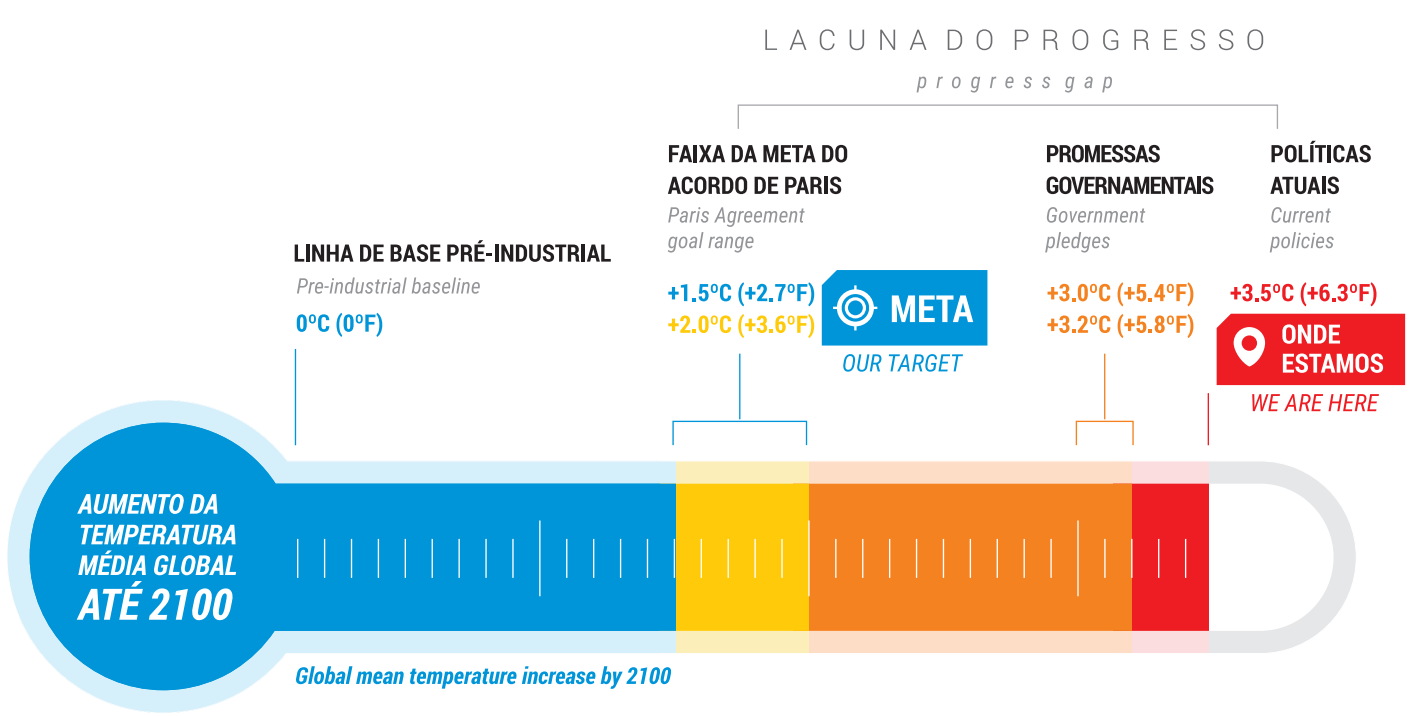
## 2.3 FONTES E CORES DO HIDROGÊNIO

Cerca de 96% do volume de gás hidrogênio ($H_2$) consumido no mundo tem sua produção baseada em combustíveis fósseis[13], sendo conhecido como "Hidrogênio Cinza". De modo a diferenciar o hidrogênio produzido a partir de fontes de energia limpa e renovável, a exemplo da energia solar fotovoltaica, eólica e hidrelétrica, foi designado o termo "Hidrogênio Verde" (H2V) para aquele produzido com mínima emissão de gases de efeito estufa (GEEs). A Figura 2.6 ilustra a classificação atualmente mais difundida globalmente para o $H_2$, que utiliza um espectro de cores como referencial para classificar as diferentes tecnologias de produção e fontes de energia utilizadas.

No Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) considera particularmente as fontes de energia eólica e solar para produção de H2V[15]. Na Bahia, entende-se como H2V o hidrogênio produzido tanto a partir de fontes de energia renováveis quanto de matérias-primas renováveis[16], ampliando as possibilidades de tecnologias de produção e fontes de energia utilizadas. Diante desse cenário, a compreensão de uma linguagem universal para o hidrogênio e a criação de uma regulamentação internacionalmente aceita são essenciais para o desenvolvimento, alavancagem e estabilização de uma economia global do H2V, proporcionando maior segurança aos *players* e investidores desse novo mercado.

**FIGURA 2.5** Acordo de Paris: metas de redução da temperatura global para combater o aquecimento e reduzir impactos climáticos de grandes magnitudes.

**FIGURE 2.5** *Paris agreement: global temperature reduction targets to fight global warming and reduce large-scale climate impacts.*




FONTE / *SOURCE*: MSCI[14] (ADAPTADO / *ADAPTED*).

## 2.2 HYDROGEN AS A VECTOR OF DECARBONIZATION

*With the increase in global energy demand and the growing pressure to control pollutant emissions, the search for solutions compatible with sustainable development is a necessity[11]. The agendas discussed at the 21st Climate Conference (COP 21) in 2015, which culminated in the Paris Agreement, represent a global pact to fight climate change, and establish targets for reducing greenhouse gas emissions. The main goal is to limit the increase in global temperature by up to 2 °C above pre-industrial levels (see Figure 2.5). In order to achieve this goal, it is necessary to promote the decarbonization of the global energy system. According to the most recent Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Assessment Report published in 2022, to combat global warming and reduce major climate impacts, it is crucial to expand the use of clean energy and invest in innovations to decarbonize the industry[12], which is still too dependent on highly polluting fossil fuels.*

*In the current scenario, hydrogen emerges as a "missing link" that has great potential to supply renewable energy demands in sectors where electrification is complex, such as transportation, industry and processes that require high amounts of heat[13]. Additionally, the use of hydrogen as renewable energy to produce "green ammonia" is one of the great challenges to reduce emissions of greenhouse gas in agribusiness, thus reducing the environmental effects of ammonia production for soil fertilization.*

## 2.3 HYDROGEN FONTS & COLORS

*About 96% of the volume of hydrogen gas ($H_2$) consumed worldwide is produced from fossil fuels[13], and is known as "Gray hydrogen". In order to distinguish hydrogen produced from clean and renewable energy sources, such as solar photovoltaic, wind power and hydroelectric power, the term "Green Hydrogen" (GH2) was designated for that one produced with minimum greenhouse gas (GHG) emissions. Figure 2.6 illustrates the most widely used classification currently used globally for $H_2$, which uses a color spectrum as a reference to distinguish the different production technologies and energy sources used.*

*In Brazil, the Energy Research Company (Empresa de Pesquisa Energética - EPE) particularly considers wind and solar energy sources for GH2 production[15]. In Bahia, GH2 is understood as hydrogen produced from both renewable energy sources and renewable raw materials[16], expanding the possibilities of production technologies and energy sources used. Given this scenario, the understanding of a universal language for hydrogen and the creation of an internationally accepted regulation are essential for the development, leverage and stabilization of a global GH2 economy, providing greater security to players and investors in this new market.*

### *O que acontece se não conseguirmos atingir nossos objetivos?*

*What happens if we fail to reach our goals?*

**ÁREAS BAIXAS SE TORNARÃO INABITÁVEIS**

***Low-lying areas become uninhabitable***

**AUMENTO DA EXTINÇÃO DE ESPÉCIES**

**30%** das espécies de plantas e animais podem estar extintas até 2070

***Species extinctions increase*** *- 30% of plant and animal species could be extinct by 2070*

**AUMENTO DE PERDAS ECONÔMICAS**

Parte significativa da produção bruta mundial pode ser perdida com o aumento de 4°C na temperatura

***Economic losses increase*** *- 2% of WW GDP (over $400B) could be lost with a 4°C rise in temperature*

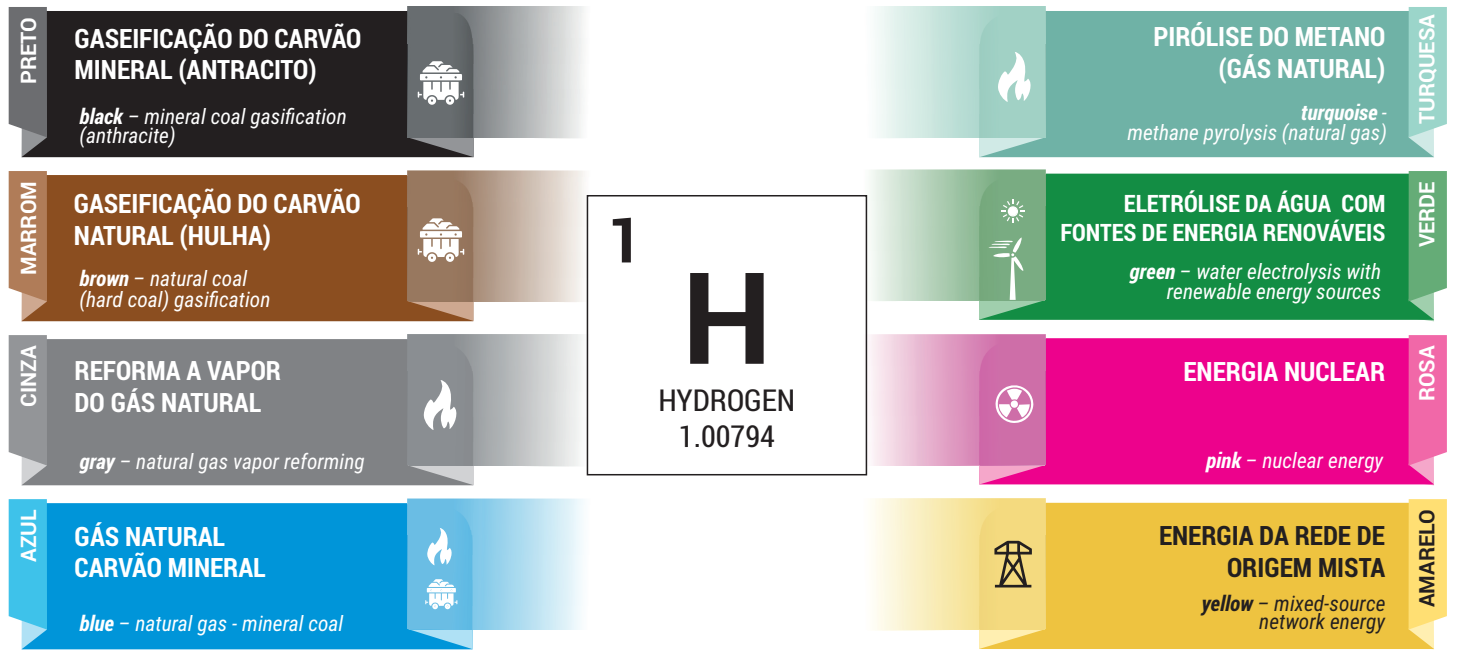
## 2.4 PRODUCTION ROUTES

*Even though $H_2$ is an abundant chemical element, there are no significant natural reservoirs available for its large-scale extraction[18], [19]. Thus, it is necessary to use available production routes to obtain this gas in sufficient volumes. Figure 2.7 illustrates the currently known production routes for $H_2$.*

*Hydrogen production has been carried out for years through mature and well-established technologies, such as methane conversion by vapor reforming reactions (RVM). However, with the need to reduce greenhouse gas emissions, other technological routes and innovations in production methods have gained space, especially those that make use of renewable resources, as raw material, energy or both[20]. In the following topics, we highlight the electrolysis of water and the production of $H_2$ from biomass.*

*FIGURA 2.6* Definição terminológica do $H_2$ utilizando espectro de cores.

*FIGURE 2.6* *Terminology definition of $H_2$ using color spectrum.*




FONTE / *SOURCE*: CHENG & LEE (2022)[17] (ADAPTADO / *ADAPTED*).

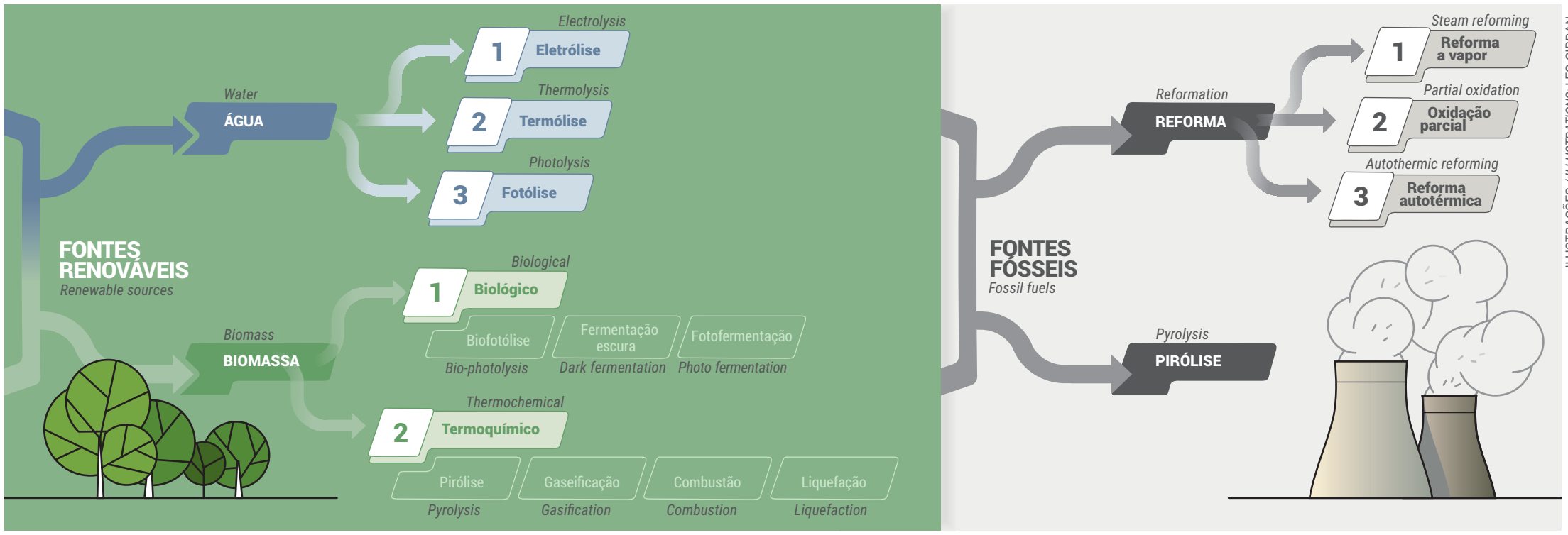
## 2.4 ROTAS DE PRODUÇÃO

Embora o $H_2$ seja um elemento químico abundante, não existem reservas naturais significativas disponíveis para sua exploração em larga escala[18], [19]. Dessa forma, é necessário utilizar rotas de produção disponíveis para obter esse gás em quantidade suficiente. A Figura 2.7 ilustra as rotas de produção de $H_2$ conhecidas atualmente.

A produção de hidrogênio tem sido realizada por anos por meio de tecnologias maduras e bem estabelecidas, como a conversão do metano por reações de reforma a vapor (RVM). No entanto, com a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, outras rotas tecnológicas e inovações nos métodos de produção têm ganhado espaço, principalmente as que fazem uso de recursos renováveis como matéria-prima, energia ou ambos[20]. Nos tópicos a seguir, destacamos a eletrólise da água e a produção de $H_2$ a partir da biomassa.

*FIGURA 2.7* Rotas tecnológicas de produção de $H_2$ a partir de fontes fósseis e renováveis.

*FIGURE 2.7* *Technological routes to $H_2$ production from fossil and renewable sources.*




FONTE / *SOURCE*: CNI[18] (ADAPTADO / *ADAPTED*).

## 2.4.1 ELETRÓLISE DA ÁGUA

A eletrólise foi realizada pela primeira vez em 1802 por Sir Humphrey Davy, que observou que uma célula galvânica poderia produzir hidrogênio e oxigênio. Diferentes projetos de eletrolisadores foram desenvolvidos nas décadas de 1920 e 1930. Atualmente a eletrólise é a principal tecnologia para a produção de hidrogênio a partir da água. Durante o processo, uma célula eletrolítica utiliza energia elétrica para acionar a reação de evolução do hidrogênio em um cátodo e a do oxigênio em um ânodo[21]. É importante frisar que tal processo demanda uma grande quantidade de energia, já que o hidrogênio e o oxigênio estão fortemente ligados entre si.

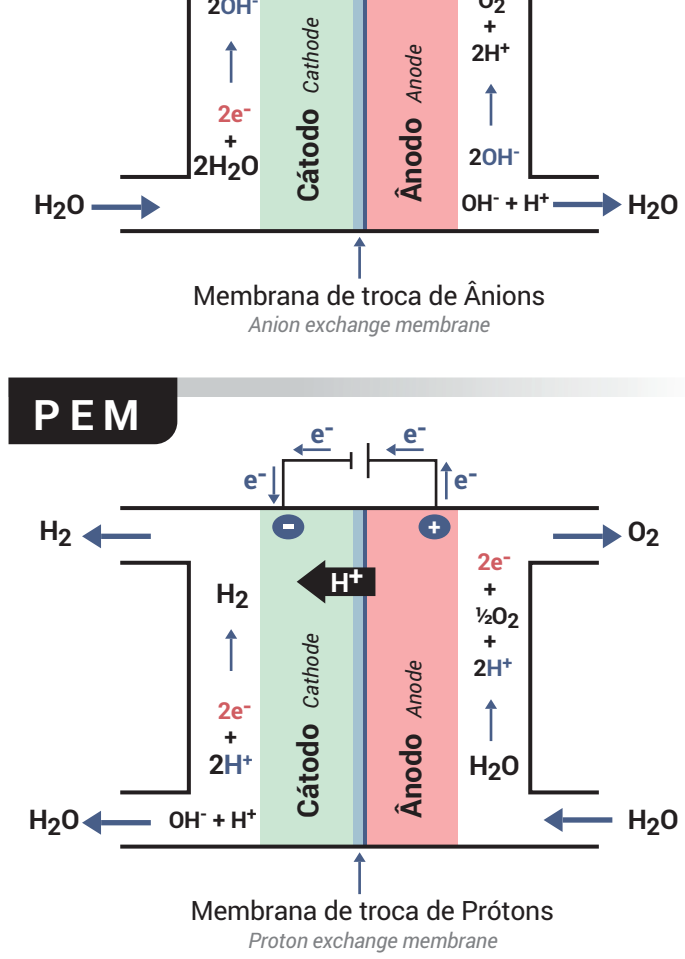
A Figura 2.8 ilustra o princípio de funcionamento dos três principais tipos de células eletrolíticas, a alcalina (do inglês, *alkaline electrolysis cell* ou AEC), a membrana de troca de ânions (do inglês, *anion exchange membrane* ou AEM) e a membrana de troca de prótons (do inglês, *proton exchange membrane* ou PEM). Além das tecnologias citadas, células de eletrólise de óxido sólido (do inglês, *solid oxide electrolysis cell* ou SOC) e eletrólise microbiana (do inglês, *microbial electrolysis cell* ou MEC) estão em desenvolvimento atualmente[21].

Dentre as tecnologias de eletrólise da água, a AEC foi a primeira a estar disponível no mercado, sendo atualmente a mais estabelecida comercialmente. No entanto, as densidades de corrente limitadas (abaixo de 400 $mA.cm^{-2}$), a baixa pressão operacional e a baixa eficiência energética motivaram o desenvolvimento de outras tecnologias, como é o caso da membrana de troca aniônica (AEM), construída a partir de polímeros com condutividade aniônica. Embora a eletrólise PEM supere as desvantagens técnicas da AEC, apresentando densidade de corrente acima de 2 $A.cm^{-2}$, alta eficiência energética, resposta rápida e dimensionamento mais compacto, ainda é uma tecnologia considerada cara, principalmente devido ao alto custo dos materiais do eletrodo à base de platina para o cátodo e irídio para o ânodo[22].

Os eletrolisadores comercializados atualmente são bastante rigorosos quanto aos parâmetros de qualidade da água utilizada, justificando a necessidade do uso conjugado de sistemas de tratamento de água. A exigência no atendimento das faixas de concentração desses parâmetros, por exemplo sólidos totais dissolvidos (STD) e carga orgânica total (COT), varia de acordo com o fabricante do eletrolisador. A garantia de permanência dessas faixas de concentração tem relação direta com a eficiência de processo e vida útil do equipamento.

***FIGURA 2.8*** Esquemático dos principais tipos de células eletrolíticas.

***FIGURE 2.8*** *Schematic of the main types of electrolytic cells.*




FONTE / *SOURCE*: GUARIEIRO *ET AL*. (2022)[21] (ADAPTADO / *ADAPTED*).

## 2.4.1 ELECTROLYSIS OF WATER

*Electrolysis was first carried out in 1802 by Sir Humphrey Davy, who observed that a galvanic cell could produce hydrogen and oxygen. Different electrolyzer projects were developed in the 1920s and 1930s. Today electrolysis is the main technology for producing hydrogen from water. During the process, an electrolytic cell uses electrical energy to activate the evolution reaction of hydrogen in a cathode and oxygen in an anode[21]. It is important to note that such a process demands a large amount of energy, since hydrogen and oxygen are strongly connected to each other.*

*Figure 2.8 illustrates the working principle of the three main types of electrolytic cells, the Alkaline Electrolysis Cell (AEC), the Anion Exchange Membrane (AEM) and the Proton Exchange Membrane (PEM). In addition to the above technologies, Solid Oxide Electrolysis Cells (SOC) and Microbial Electrolysis Cells (MEC) are currently under development[21].*

*Among the water electrolysis technologies, AEC was the first to be available in the market and is currently the most commercially established. However, the limited current densities (below 400 $mA.cm^{-2}$), low operating pressure, and low energy efficiency motivated the development of other technologies, such as the Anion Exchange Membrane (AEM), built from polymers with anionic conductivity. Although PEM electrolysis overcomes the technical disadvantages of AEC, presenting current density above 2 $A.cm^{-2}$, high energy efficiency, fast response and more compact sizing, it is still considered an expensive technology, mainly due to the high cost of electrode materials based on platinum for the cathode and iridium for the anode[22].*

*The electrolyzers currently on the market are very strict regarding the quality standards of the water used, justifying the need for combined use of water treatment systems. The requirement in meeting the concentration ranges of these parameters, for example Total Dissolved Solids (TDS) and Total Organic Load (TOL), varies according to the manufacturer of the electrolyzer. The guarantee of maintenance of these concentration ranges is directly related to the efficiency of the process and the useful life of the equipment.*

*2.4.2*

## *2.4.2 A PARTIR DA BIOMASSA*

A biomassa é amplamente utilizada como fonte de energia renovável de baixo carbono em diversas indústrias. As principais fontes de biomassa incluem resíduos florestais, agrícolas, animais e industriais, bem como resíduos sólidos orgânicos e aqueles decorrentes do tratamento de esgoto[23].

O aproveitamento energético e químico da biomassa se dá por intermédio de processos e tecnologias complexas, as quais dependem, por sua vez, do tipo de matéria-prima e das respectivas eficiências de conversão. A produção direta de $H_2$ a partir da biomassa é realizada por duas principais rotas, que são os processos termoquímicos e os processos bioquímicos de microrganismos. A Figura 2.9 ilustra as principais tecnologias de produção de hidrogênio a partir da biomassa.

***FIGURA 2.9*** Tecnologias de produção de hidrogênio a partir da biomassa.

***FIGURE 2.9*** *Hydrogen production technologies from biomass.*

## *2.4.3 FROM BIOMASS*

*Biomass is widely used as a low-carbon renewable energy source in a number of industries. The main sources of biomass include forest, agricultural, animal and industrial residues, as well as organic solid waste and sewage disposal[23].*

*The energy and chemical utilization of biomass is achieved through complex processes and technologies, which in turn depend on the type of raw material and the respective conversion efficiencies. The direct production of $H_2$ from biomass is accomplished by two main routes, which are thermochemical processes and biochemical processes by microorganisms. Figure 2.9 illustrates the main technologies for producing hydrogen from biomass.*

*Thermochemical Processes*

### Processos Bioquímicos

**Reação de troca água-gás com microrganismos**
*Water-gas exchange reaction with microorganisms*

Neste processo o $H_2$ é produzido por bactéria fotoheterotrófica na ausência de luz, pela redução e oxidação da água e CO, respectivamente. A principal vantagem é a possibilidade de operar sob condições ambientes de pressão de 1 atm e temperatura entre 30-70 ºC.
*In this process $H_2$ is produced by photoheterotrophic bacteria in the absence of light, by the reduction and oxidation of water and CO, respectively. The main advantage is the possibility of operating under ambient conditions of 1 atm pressure and temperature between 30–70ºC (86 – 158 ºF).*

**Fotofermentação**
*Photofermentation*

A fotofermentação utiliza nitrogenases como catalisadores para converter a biomassa em $H_2$ por meio da energia solar em um meio deficiente em nitrogênio. A desvantagem deste processo está na dificuldade de operação para controlar o processo de degradação de substrato por diferentes bactérias e os parâmetros entre os estágios de separação.
*Photofermentation uses nitrogenases as catalysts to convert biomass to $H_2$ by means of solar energy in a nitrogen-deficient environment. The disadvantage of this process is the difficult operation to control the process of substrate degradation by different bacteria and the parameters between the separation stages.*

**Fermentação escura**
*Dark fermentation*

É também conhecida como um processo anaeróbio, pois o $H_2$ é produzido sem a presença de oxigênio por consórcio de bactérias fermentativas em ambiente sem luz e faixa de temperatura entre 25-80 °C.
*It is also known as an anaerobic process, because $H_2$ is produced without the presence of oxygen by a pool of fermentation bacteria in a light-free environment and temperature range between 25-80 ºC (77 – 176 ºF).*

*Biochemical Processes*

### Processos Termoquímicos

**Gaseificação**
*Gasification*

A gaseificação de biomassa é uma típica rota termoquímica e é considerada uma forma viável de produção de $H_2$ quando comparada às demais rotas. É um processo endotérmico realizado em um meio com pouca concentração de oxigênio ($O_2$) em temperatura na faixa de 700-1200 °C.
*Biomass gasification is a typical thermochemical route and it is considered a viable mode of $H_2$ production when compared to other routes. It is an endothermic process carried out in an environment with low oxygen ($O_2$) concentration at temperature in the range of 700 – 1200°C (1292 – 2192 ºF).*

**Pirólise**
*Pyrolysis*

A vantagem da pirólise frente à gaseificação é a menor temperatura e pressão de operação, que variam na faixa entre 400 e 800 ºC e entre 1 e 5 bar, respectivamente.
*The advantage of pyrolysis over gasification is the lower operating temperature and pressure, which vary between 400 to 800 ºC (752 to 1472 ºF) and pressures between 1 and 5 bar, respectively.*

**Liquefação**
*Liquefaction*

Diferente da gaseificação e pirólise, o principal produto da liquefação de biomassa é o bio-óleo, produzido em baixas temperaturas, na faixa entre -250 e -325 ºC, e alta pressão (20 Mpa).
*Unlike gasification and pyrolysis, the main product of biomass liquefaction is bio-oil, which is produced at low temperatures, between -250 and -325 ºC (-418 and -598 ºF), and high pressure (20 Mpa).*

**Reforma em fase aquosa**
*Aqueous reforming*

Conversão de compostos oxigenados da biomassa. As moléculas da biomassa durante a fase aquosa reagem com moléculas da água em temperaturas abaixo de 270 °C e pressões de até 50 bar.
*Conversion of oxygenated compounds from biomass. The biomass molecules during the aqueous phase react with water molecules at temperatures below 270°C (518 ºF) and pressures up to 50 bar.*

FONTE / *SOURCE*: AZIZ *ET AL.* (2021)[24], BUFFI *ET AL.* (2022)[25], LEPAGE *ET AL.* (2021)[26], TAIPABU *ET AL.* (2022)[27].

## 2.4.3 MATURIDADE TECNOLÓGICA

Atualmente, as tecnologias de produção de hidrogênio a partir de fontes fósseis têm dominado o mercado, o que lhes confere um nível de maturidade tecnológica superior a outros processos de produção. No entanto, no que se refere à produção de H2V, a eletrólise é a tecnologia que mais se destaca, principalmente as tecnologias de eletrólise alcalina (AEC) e de membrana polimérica trocadora de prótons (PEM). A AEC é a tecnologia mais madura e já vem sendo utilizada em escala industrial há muitos anos. Embora outras tecnologias sejam promissoras, a exemplo da eletrólise de membrana trocadora de ânions (AEM) e de óxido sólido (SOEC), ainda há uma série de desafios a serem superados antes de atingirem um grau de maturidade comercial definitivo. A Tabela 2.1 relaciona as principais tecnologias de produção de $H_2$, seus respectivos estágios de maturidade tecnológica – indicados pelo nível de TRL (do inglês, *Technology Readiness Level*) – e a escala de produção atual.

***TABELA 2.1*** Estágios de maturidade tecnológica e escala de produção das tecnologias e processos de produção de $H_2$ por meio de eletrólise e biomassa.

***TABLE 2.1*** *Technological maturity stages and scale of production of technologies and $H_2$ production processes through electrolysis and biomass.*

| | | PRODUÇÃO DE $H_2$ *PRODUCTION OF $H_2$* | TRL* | ESCALA DE PRODUÇÃO *PRODUCTION SCALE* |
|---|---|---|---|---|
| **Eletrólise da água** *Water electrolysis* | **Tecnologia** *Technology* | AEC | 9 | Larga *Wide* |
| | | PEM | 8 | Larga *Wide* |
| | | AEM | 4 - 5 | Planta piloto *Pilot plant* |
| | | SOEC | 5 | Planta piloto *Pilot plant* |
| **Biomassa** *Biomass* | **Processo** *Process* | Gaseificação por vapor *Steam gasification* | 7 | Semi-industrial *Semi industrial* |
| | | Pirólise *Pyrolysis* | 7 | Semi-industrial *Semi industrial* |
| | | Reforma em fase aquosa *Water-phase reforming* | 4 - 5 | Planta piloto *Pilot plant* |
| | | Fermentação escura *Dark fermentation* | 5 | Planta piloto *Pilot plant* |
| | | Gaseificação por água *Water gasification* | 4 | Planta piloto *Pilot plant* |
| | | Fotofermentação *Photo fermentation* | 4 | Em pesquisa *Under research* |
| | | Reação Biológica de Troca Água-Gás *Biological Water-Gas Exchange Reaction* | 4 | Em pesquisa *Under research* |

FONTE / *SOURCE*: AL-QAHTANI *ET AL*. (2021)[20], BUFFI *ET AL*. (2022)[25], LEPAGE *ET AL*. (2022)[26], MILLER (2020)[29], PINSKY *ET AL*. (2020)[30], VARELA *ET AL*. (2021)[31].

* *TECHNOLOGY READINESS LEVEL* É UM INDICADOR UTILIZADO COMO REFERÊNCIA PARA CLASSIFICAR O GRAU DE MATURIDADE DE UMA DETERMINADATECNOLOGIA[28]
** TECHNOLOGY READINESS LEVEL IS AN INDICATOR USED AS REFERENCE TO CLASSIFY THE MATURITY LEVEL OF A CERTAIN TECHNOLOGY [28].*

## 2.4.4 TECHNOLOGIC MATURITY

*Currently, technologies for producing hydrogen from fossil sources have been dominating the market, which gives them a higher level of technological maturity than other production processes. However, when it comes to GH2 production, electrolysis is the technology that stands out the most, especially the alkaline electrolysis (AEC) and polymeric proton exchange membrane (PEM) technologies. AEC is the most mature technology and has been used on an industrial scale for several years. Although other technologies are promising, such as anion exchange membrane electrolysis (AEM) and solid oxide electrolysis (SOEC), there are still a number of challenges to be overcome before they reach a definitive commercial maturity. Table 2.1 lists the main $H_2$ production technologies, their respective stages of technological maturity, indicated by the TRL (Technology Readiness Level), and the current scale of production.*

## 2.5 LOGISTICS

### 2.5.1 WAREHOUSING

*Hydrogen, in gas state, has low density 0.084 kg.m$^{-3}$ at normal temperature and pressure conditions or NTPC and its boiling point is the second lowest among all known substances (-252.9 °C, or -423.2 °F). At room temperature and atmospheric pressure, just 1 kg of hydrogen gas fills more than 11 m$^3$. Thus, for the storing of $H_2$ to be economically feasible, its density needs to be raised[32].*

*Storing it as a gas usually requires large volume tanks and high pressure (350 to 700 bar)[33], [34]. In the liquid state, it needs to be stored via cryogenic systems at very low temperature (below -253 ºC, or -423.4 ºF)[34], [35]. Hydrogen can also be stored on the surfaces of solids (by adsorption) or within solids (by absorption)[34].*

*Generally speaking, hydrogen storage is classified into two categories. In physical storage, $H_2$ is found in its gaseous physical state ($CGH_2$) or as a supercritical liquid ($LH_2$) and its density is adjusted through variations in pressure and/or temperature. In physicochemical storage, hydrogen can be stored by chemically combining pure $H_2$ with metal hydrides or chemical hydrides, adsorbed onto other materials, or through Liquid Organic Hydrogen Carriers,[36] also known as LOHCs. LOHC are among the most promising options for large volumes of $H_2$ storage[33], [37]. Table 2.2 lists the main hydrogen storage methods currently known, highlighting some advantages and disadvantages.*

## 2.5 LOGÍSTICA

### 2.5.1 ARMAZENAMENTO

O hidrogênio tem baixa densidade no estado gasoso (0,084 kg.m$^{-3}$ nas condições normais de temperatura e pressão, ou CNTP) e o seu ponto de ebulição é o segundo menor dentre todas as substâncias conhecidas (-252,9 °C). Em temperatura ambiente e pressão atmosférica, apenas 1 kg de gás hidrogênio ocupa mais de 11 m$^3$. Assim, para que o armazenamento de $H_2$ seja economicamente viável, sua densidade precisa ser aumentada[32].

Armazená-lo como gás normalmente requer tanques de grande volume e alta pressão (350 a 700 bar)[33], [34]. No estado líquido, precisa ser armazenado por meio de sistemas criogênicos, em baixíssima temperatura (inferior a -253 °C)[34], [35]. O hidrogênio também pode ser armazenado nas superfícies dos sólidos (por adsorção) ou dentro dos sólidos (por absorção)[34].

De maneira geral, o armazenamento do hidrogênio é classificado em duas categorias. No armazenamento físico, o $H_2$ é encontrado em seu estado físico gasoso ($CGH_2$) ou como um líquido supercrítico ($LH_2$) e a sua densidade é ajustada por meio de variações na pressão e/ou temperatura. No armazenamento físico-químico, o hidrogênio pode ser estocado mediante a combinação química do $H_2$ puro com hidretos metálicos ou hidretos químicos, adsorvido em outros materiais ou através de Transportadores de Hidrogênio Orgânico Líquido[36], também conhecidos como LOHC (do inglês *Liquid Organic Hydrogen Carriers*). Os LOHC estão entre as opções mais promissoras para armazenamento de $H_2$ em grandes volumes[33], [37]. A Tabela 2.2 relaciona os principais métodos de armazenamento de hidrogênio conhecidos atualmente, destacando algumas vantagens e desvantagens.

**TABELA 2.2** Principais métodos de armazenamento do hidrogênio.
**TABLE 2.2** *Main methods of hydrogen storage.*

| MÉTODO *METHOD* | TIPO *TYPE* | DESCRIÇÃO *DESCRIPTION* | VANTAGENS *ADVANTAGES* | DESVANTAGENS *DISADVANTAGES* |
|---|---|---|---|---|
| **Físico** *Physical* | $CGH_2$[a] | Tanques pressurizados (350 a 700 bar) *Pressurized tanks (350 to 700 bar)* | Tecnologia mais madura e utilizada atualmente *Most updated technology currently used* | Alta pressão de armazenamento e perdas em torno de 10% *High pressure storage and about 10% loss* |
| | | Cavernas de sal e campos maduros *Salt caverns and mature fields* | Baixo custo operacional e volumes elevados de armazenamento *Operational low cost and high volumes of storage* | Alto custo de investimento inicial (cavernas de sal) *Initial investment high cost (salt caverns)* |
| | $LH_2$[b] | Tanques pressurizados (200 a 350 bar; -253 °C) *Pressurized tanks (200 to 350 bar; -423.4 ºF)* | Maior densidade de energia por unidade de volume *Higher energy density per volume unit* | Elevado consumo de energia e perdas por evaporação *High energy consumption and loss through evaporation* |
| **Físico-Químico** *Physical-Chemical* | Hidretos metálicos *Metal hydrids* | Ligação química entre o $H_2$ e um metal *Chemical alloy: $H_2$ + metal* | Processo químico simples e bastante conhecido *Simple and widely known chemical process* | Estado sólido na CNTP, dificultando a logística de armazenagem e transporte *Solid state at NTPC, turning storage logistics and transportation difficult* |
| | Hidretos químicos *Chemical hydrids* | $H_2$ dissolvido em substâncias como metanol, amônia, dentre outros *$H_2$ dissolved into substances like methanol, ammonia, among others* | Estado líquido na CNTP, peso e volume reduzidos e infraestrutura logística existente, facilitando transporte e armazenagem *Liquid state at CNTP, reduced weight and volume, and existing logistical infrastructure, facilitating transport and storage* | Energia necessária para promover a adsorção e posterior recuperação do $H_2$ *Energy required to promote adsorption and subsequent recovery of $H_2$* |
| | LOHC[c] | $H_2$ dissolvido em substâncias a base de petróleo, como dibenziltolueno (DBT), N-ethylcarbazol (NEC) e tolueno (TOL) *$H_2$ dissolved in petroleum-based substances such as dibenzyltholuene (DBT), N-ethylcarbazole (NEC) and toluene (TOL)* | | |

FONTE / *SOURCE*: LOTOTSKYY *ET AL*. (2014)[38], GONZATTI (2017)[39], MORADI & GROTH (2019)[33], NIERMANN *ET AL*. (2021)[37].

OS MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO FÍSICO DO HIDROGÊNIO POSSUEM MAIOR MATURIDADE TECNOLÓGICA EM COMPARAÇÃO AOS FÍSICO-QUÍMICOS / *THE METHODS OF PHYSICAL STORAGE OF HYDROGEN HAVE GREATER TECHNOLOGICAL MATURITY COMPARED TO THE PHYSICOCHEMICAL ONES.* [a] HIDROGÊNIO GASOSO / *GASEOUS HYDROGEN.* [b] HIDROGÊNIO LIQUEFEITO / *LIQUEFIED HYDROGEN.* [c] TRANSPORTADORES DE HIDROGÊNIO ORGÂNICO LÍQUIDO / *LIQUID ORGANIC HYDROGEN CARRIERS.*

Devido a tais características, armazenar $H_2$ é um grande desafio e, por isso, um elemento-chave quando se trata de utilização em larga escala. Nesse aspecto, diferentes técnicas e equipamentos podem ser utilizados de acordo com o estado físico da matéria, volume a ser armazenado, intervalo de tempo de armazenamento e velocidade de descarregamento necessária[36], [40]. Atualmente, quatro principais tecnologias estão comercialmente disponíveis, sendo elas:

- Tanques pressurizados (hidrogênio gasoso, ou $CGH_2$);
- Tanques criogênicos (hidrogênio liquefeito, ou $LH_2$);
- Tanques de aço carbono (LOHC);
- Tanques de aço carbono (hidrogênio adsorvido em materiais sólidos).

A Figura 2.10 ilustra a estrutura de um tanque criogênico para armazenamento de $LH_2$.

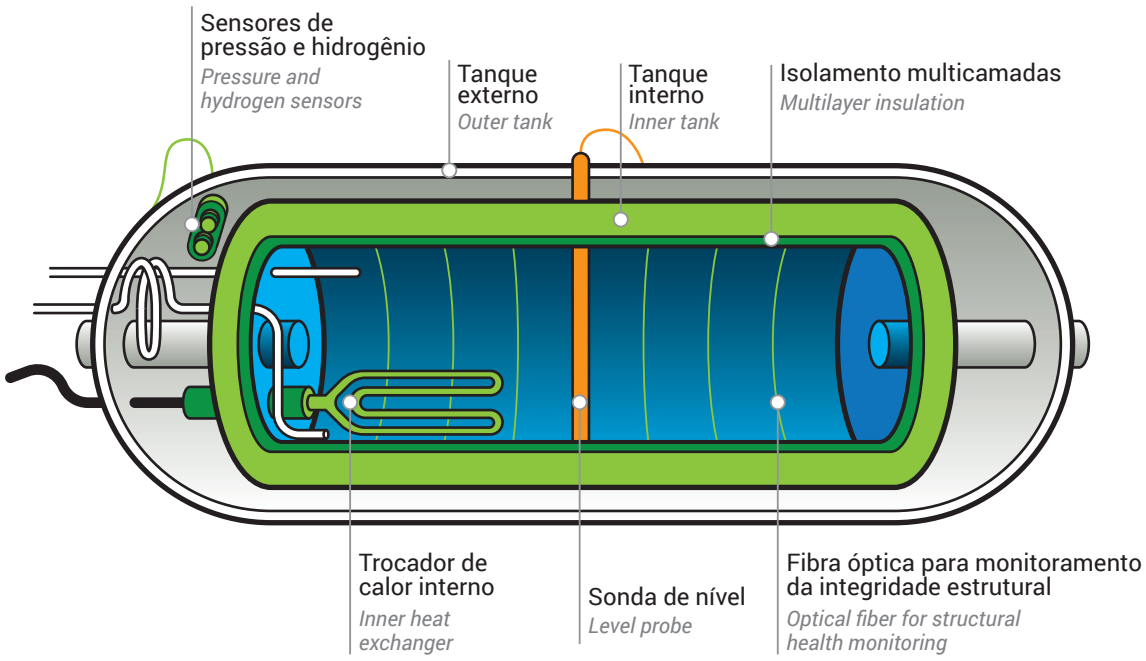
*Due to such characteristics, storing $H_2$ is a great challenge and therefore a key element when it comes to large-scale use. In this respect, different techniques and equipment can be used according to the physical state of the material, volume to be stored, storage time interval, and required unloading speed*[36], [40]*. Currently, four main technologies are commercially available, and they are:*

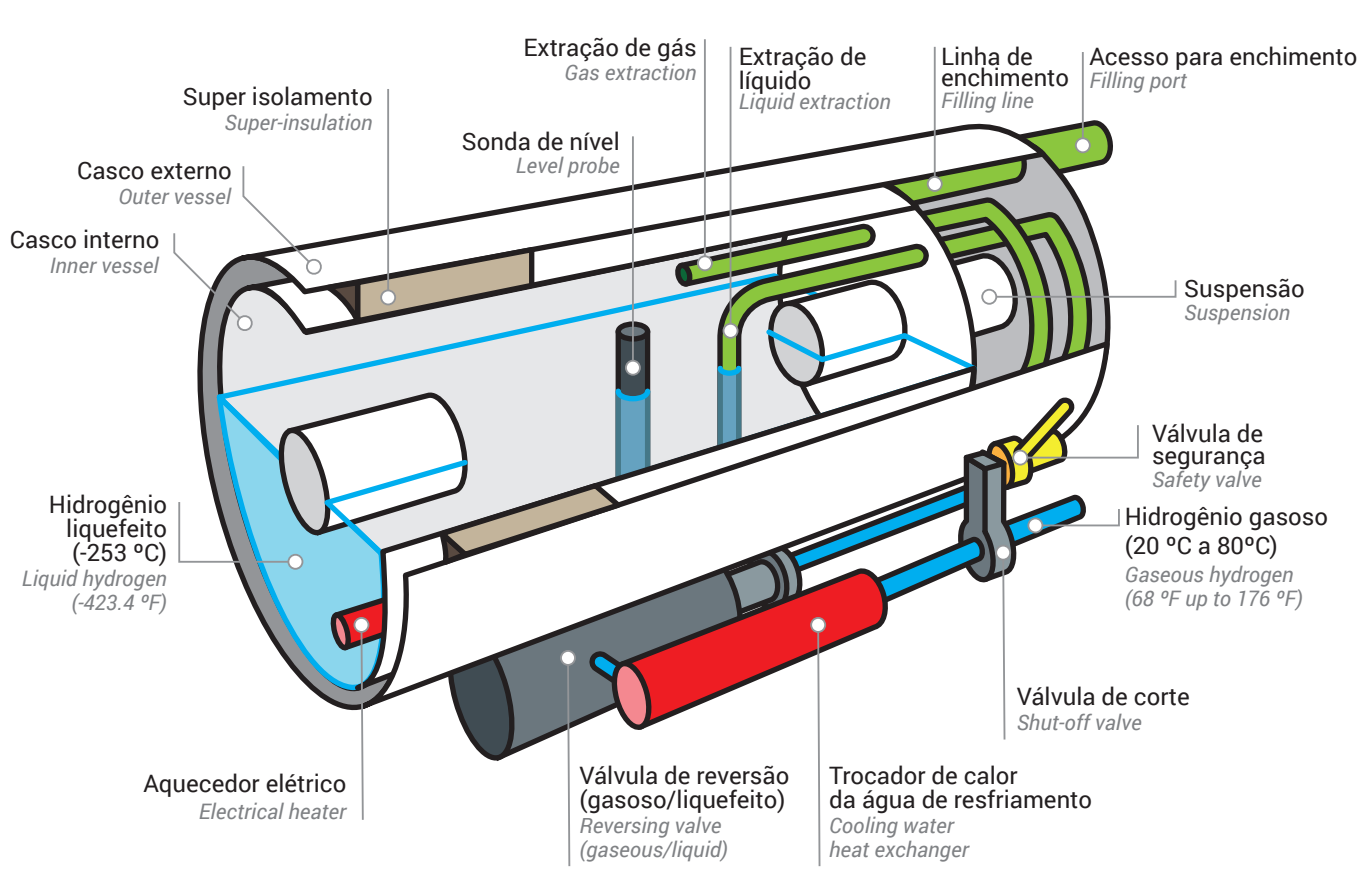
- *Pressurized tanks (hydrogen gas, or $CGH_2$);*
- *Cryogenic tanks (liquefied hydrogen, or $LH_2$);*
- *Carbon Steel Tanks (LOHC);*
- *Carbon steel tanks (hydrogen adsorbed on solid materials).*

*Figure 2.10 illustrates the structure of a cryogenic tank for storing liquid hydrogen.*

***FIGURA 2.10*** Sistemas de tanques criogênicos para armazenamento de $LH_2$.

***FIGURE 2.10*** *Cryogenic tank systems for storing $LH_2$.*




ILUSTRAÇÕES / *ILLUSTRATIONS*: LEO GIBRAN

FONTE / *SOURCE*: LINDE[41] (ADAPTADO / *ADAPTED*).

## 2.5.2 TRANSPORTATION & DISTRIBUTION

*Worldwide hydrogen production is mostly from fossil sources and is concentrated in stationary plants. As a result, only 5% of the volume produced is marketed, which makes long-distance transport still small and challenging.*

*Hydrogen in gas form is commonly transported by high-pressure pipelines or by road transport. Haul trucks that transport gas hydrogen ($CGH_2$), also called Tube-trailers (Figure 2.11), are best suited for short distances (up to 500 km) and small quantities, from 6 to 12 cubic meters of H per trip. For large quantities of $CGH_2$, above 5 billion cubic meters per year, and distances between 500 and 1,500 km, pipeline transportation (Figure 2.12) is the most economically viable option[9], [36]. It is worth noting that the installation of new pipelines involves high cost investment and therefore only suitable for serving a steady, high-volume demand.*

*Specifically about the distribution of $CGH_2$ by pipeline, one alternative that has been evaluated is the reuse of existing natural gas transportation networks. It is now known that hydrogen can be safely injected into a mixture with natural gas. The levels indicated, however, can vary between 5% and 17% $H_2$ depending on the application and the construction structure of the existing pipelines[42].*

*For long distances, over 1,500 km, it is preferable that hydrogen be transported in its liquefied form[9]. In this case, the road transport of $LH_2$ can be carried out by haul trucks Cryogenic-trailer type (Figure 2.13), which have the capacity to carry up to ten times more hydrogen than Tube-trailers, reaching 5,000 kg of $H_2$. $LH_2$ can also be transported by railroads and ships[43], [44], in the latter case mainly in the form of ammonia or LOHC aiming at intercontinental shipping [9], [45]. New ship designs, capable of transporting large volumes of $LH_2$ in its pure form, are being designed, but are still in the early stages of research and development[42].*

*Regarding transportation costs, if $H_2$ is generated next to where it will be used, which corresponds to 85% of the current market, these are very close to zero. However, if there is a considerable distance between the points (15% of the current market), the amount spent can be more than three times the production cost of $H_2$ [9], [36].*

## 2.5.2 TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO

A produção mundial de hidrogênio é predominantemente proveniente de fontes fósseis e está concentrada em plantas estacionárias. Como resultado, apenas 5% do volume produzido é comercializado, o que torna o transporte de longa distância ainda pouco expressivo e desafiador.

O hidrogênio em forma de gás é comumente transportado por gasodutos de alta pressão ou transporte rodoviário terrestre. Os caminhões reboque que transportam hidrogênio gasoso ($CGH_2$), também chamados de *Tube-trailers* (Figura 2.11), são os mais adequados para curtas distâncias (até 500 km) e pequenas quantidades (entre 6 e 12 mil metros cúbicos de $H_2$ por viagem). Para grandes quantidades de $CGH_2$, acima de 5 bilhões de metros cúbicos por ano, e distâncias entre 500 e 1.500 km, o transporte por gasodutos (Figura 2.12) é a opção economicamente mais viável[9], [36]. Vale frisar que a instalação de novos gasodutos é altamente intensiva em capital e, portanto, apenas adequada para atender uma demanda constante e de alto volume.

Especificamente sobre a distribuição de $CGH_2$ por gasodutos, uma alternativa que se tem avaliado é o reaproveitamento das redes de transporte de gás natural existentes. Atualmente já se sabe que é possível injetar hidrogênio em uma mistura com gás natural de forma segura. Os níveis indicados, porém, podem variar entre 5% e 17% de $H_2$ a depender da aplicação e da estrutura construtiva dos dutos existentes[42].

Para longas distâncias, acima de 1.500 km, é preferível que o transporte do hidrogênio seja realizado em sua forma liquefeita[9]. Nesse caso, o transporte rodoviário de $LH_2$ pode ser realizado por caminhões reboque do tipo *Cryogenic-trailers* (Figura 2.13), os quais têm capacidade para transportar até dez vezes mais hidrogênio do que os *Tube-trailers*, chegando a 5.000 kg de $H_2$. O $LH_2$ também pode ser transportado por ferrovias e navios[43], [44], neste último caso principalmente na forma de amônia ou LOHC, visando o transporte marítimo intercontinental[9], [45]. Novos modelos de navios, capazes de transportar grandes volumes de $LH_2$ em sua forma pura, estão sendo projetados, mas ainda se encontram em fase inicial de pesquisa e desenvolvimento[46].

Sobre os custos de transporte, caso o $H_2$ seja gerado ao lado de onde será utilizado, o que corresponde a 85% do mercado atual, esses ficam muito próximos de serem nulos. Por outro lado, se houver uma distância considerável entre os pontos (15% do mercado atual), o montante gasto pode ser maior que o triplo do custo de produção do $H_2$ [9], [36].

***FIGURA 2.11*** Imagem ilustrativa de um caminhão reboque do tipo *tube-trailer* para transporte de $H_2$ na forma de gás comprimido.

***FIGURE 2.11*** *Illustrative image of a haul truck Tube-trailer type for transporting $H_2$ in compressed gas form.*

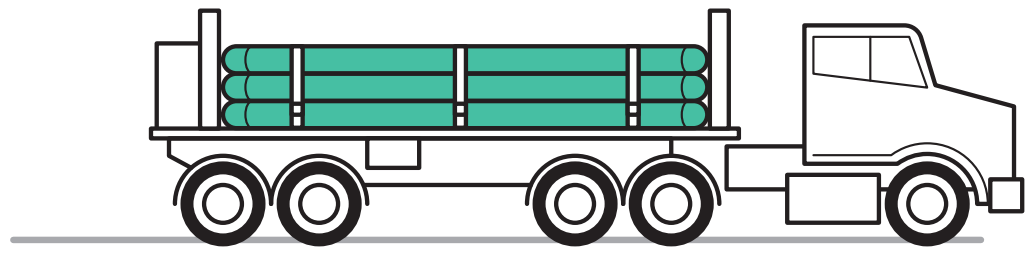
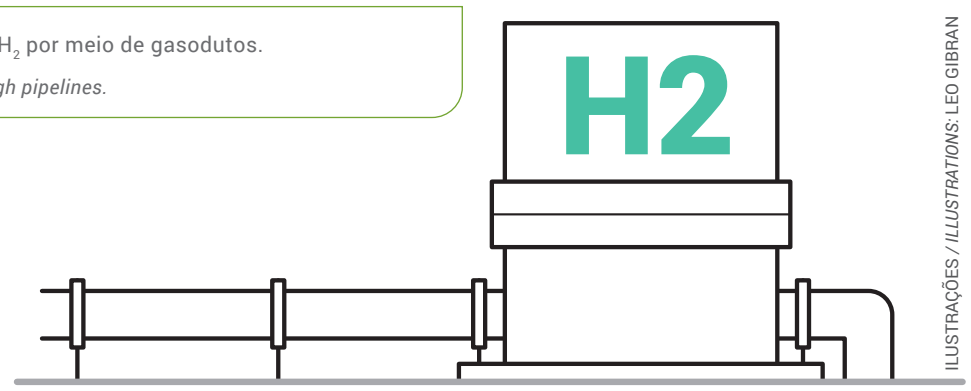


***FIGURA 2.12*** Ilustração da distribuição de $CGH_2$ por meio de gasodutos.

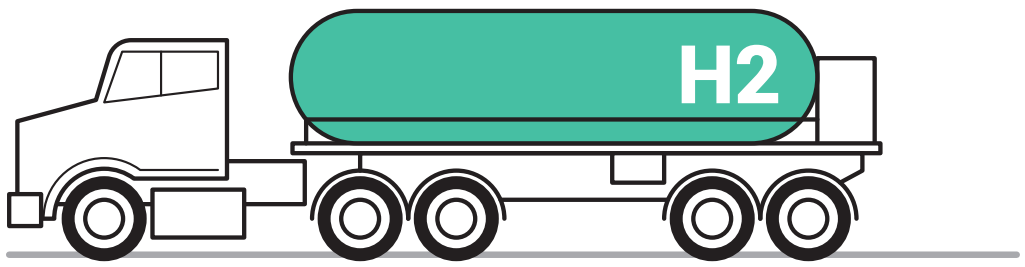
***FIGURE 2.12*** *Illustration of $CGH_2$ distribution through pipelines.*




ILUSTRAÇÕES / *ILLUSTRATIONS*: LEO GIBRAN

***FIGURA 2.13*** Imagem ilustrativa de um caminhão reboque do tipo *Cryogenic-trailer* para transporte de $LH_2$.

***FIGURE 2.13*** *Illustrative image of a haul truck Cryogenic-trailer type for transporting $LH_2$.*



## 2.5.3 CADEIA DE SUPRIMENTOS

A cadeia de suprimentos do H2V pode ser definida em três etapas, sendo elas:

- *Upstream* (a montante), composta pelas fontes renováveis de energia, equipamentos de geração de energia como os aerogeradores, sistemas solares fotovoltaicos, sistemas geradores hídricos, redes de distribuição de energia e sistemas de tratamento de água;
- *Midstream* (intralogística), que se caracteriza por ser a etapa de produção e armazenamento do H2V;
- *Downstream* (a jusante), que constitui o transporte, a distribuição e o consumo final.

A Figura 2.14 ilustra as etapas da cadeia de suprimentos do H2V destacando alguns dos elementos mais relevantes em seu ciclo de vida.

Durante a movimentação dos insumos e matérias-primas utilizados na produção do H2V, é de suma relevância que toda a cadeia logística associada seja, ou se torne, "verde". O conceito de Cadeia Logística Verde (do inglês, *Green Logistics Chain* – GLC) envolve aspectos que garantem a redução dos impactos ambientais ao longo de toda a cadeia, atuando nos fornecedores de matéria-prima, nos processos produtivos e nas formas de distribuição do produto final para o cliente.

### 2.5.3 SUPPLY CHAIN

*The supply chain of GH2 can be defined in 3 stages:*

- *Upstream, consisting of renewable energy sources, power generation equipment such as wind turbines, solar photovoltaic systems, hydro-generating systems, power distribution networks, and water treatment systems;*
- *Midstream (intralogistics), which is characterized as the production and storage stage of GH2;*
- *Downstream, which is the transportation, distribution, and final consumption.*

*Figure 2.14 illustrates the stages of the GH2 supply chain highlighting some of the most relevant elements in its life cycle.*

*During the movement of inputs and raw materials used in the production of GH2, it is of critical importance that the entire associated logistics chain is, or becomes, "green". The concept of Green Logistics Chain (GLC) involves aspects that ensure the reduction of environmental impacts throughout the chain, acting on the raw material suppliers, in the production processes, and in the ways of distributing the final product to the client.*

***FIGURA 2.14*** Cadeia de Suprimento do H2V.

***FIGURE 2.14*** *Supply Chain of GH2.*




ILUSTRAÇÕES / *ILLUSTRATIONS*: LEO GIBRAN

FONTE / *SOURCE*: EDP [47] (ADAPTADO / *ADAPTED*).

## 2.6 REGULATION

*In recent years, Brazil has made significant progress in formulating specific hydrogen-related regulations at the federal level. A notable example is Bill No. 725/2022[48], currently in progress, which aims to integrate hydrogen as an energy vector in the country and establishes guidelines to encourage the use of sustainable hydrogen.*

*It is important to highlight the existence of the National Hydrogen Program ($PNH_2$), instituted through Resolution No. 6 of June 23, 2022 by the Ministry of Mines and Energy[49]. This program establishes guidelines for the development of multiple hydrogen production routes, including GH2. The $PNH_2$ aims to strengthen the hydrogen market and industry in the country, while proposing actions to encourage the development of public policies and related technologies.*

*Moreover, the Energy Research Company - EPE has developed technical standards on hydrogen production alternatives, possible challenges for implementation, and the role of hydrogen in the energy transition scenario[15], [50].*

*At state level, Bahia stands out as a pioneer by instituting the State Economic Plan for Green Hydrogen ($PLEH_2V$)[16], which aims to encourage the production, use, and technological development of Green Hydrogen in its production chain. This instrument presents the guidelines for the establishment of infrastructure through public policies, in addition to the provision for the creation of a special committee to monitor the actions related to Green Hydrogen.*

*Despite recent efforts and progress, a legal milestone is still needed at the federal level, as well as a state regulation for the production of hydrogen in Bahia. Such mechanisms will allow the development of a solid GH2 economy in Brazil and in the State of Bahia, thus granting more security and previsibility to players, investors and other interested parties.*

### 2.6.1 GH2 CERTIFICATION

*The demonstration of hydrogen production in a sustainable way is as important as its relevance in reaching the goals established in the reduction of global GHG emissions. Although recent, the GH2 production market already has some certifications around the world (see Table 2.3). In this sense, the European Union and China are places where it is already possible to use certification as a way to ensure that the hydrogen produced is really sustainable. Other countries, such as Canada and Australia, are still in the process of developing a certification that meets their internal objectives.*

*Despite the internal relevance of each of the existing certifications in the different countries, today there is still no international certification for GH2 widely recognized and accepted..*

## 2.6 REGULAMENTAÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil tem apresentado significativo progresso na formulação de regulamentações específicas relacionadas ao hidrogênio em âmbito federal. Um exemplo notável é o Projeto de Lei Nº 725/2022[48], atualmente em tramitação, que visa a integração do hidrogênio como vetor de energia no país e estabelece diretrizes de incentivo ao uso do hidrogênio sustentável.

É importante destacar a existência do Programa Nacional do Hidrogênio ($PNH_2$), instituído por meio da Resolução nº 6 de 23 de junho de 2022 pelo Ministério de Minas e Energia[49]. Esse programa estabelece diretrizes para o desenvolvimento de múltiplas rotas de produção de hidrogênio, incluindo o H2V. O $PNH_2$ tem como objetivo fortalecer o mercado e a indústria do hidrogênio no país, ao mesmo tempo em que propõe ações para incentivar o desenvolvimento de políticas públicas e tecnologias relacionadas.

Além disso, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) elaborou normas técnicas sobre as alternativas de produção de hidrogênio, possíveis desafios para implementação e o papel do hidrogênio no cenário de transição energética[15], [50].

Em âmbito estadual, a Bahia se destaca pelo pioneirismo ao instituir o Plano Estadual para Economia de Hidrogênio Verde ($PLEH_2V$)[16], que visa incentivar a produção, uso e desenvolvimento tecnológico do Hidrogênio Verde em sua cadeia produtiva. Nesse instrumento são apresentadas as diretrizes para estabelecimento de infraestrutura por meio de políticas públicas, além da previsão de constituição de uma comissão especial para acompanhamento das ações voltadas ao Hidrogênio Verde.

Apesar dos recentes esforços e avanços, ainda se faz necessário um marco legal na esfera federal, assim como uma regulamentação estadual para a produção de hidrogênio na Bahia. Tais mecanismos permitirão o desenvolvimento de uma sólida economia do H2V no Brasil e no estado da Bahia, garantindo assim maior segurança e previsibilidade aos *players*, investidores e demais partes interessadas.

### 2.6.1 CERTIFICAÇÃO DO H2V

A comprovação da produção de hidrogênio de forma sustentável é tão importante quanto sua relevância para atingir as metas estabelecidas na redução das emissões globais dos GEEs. Apesar de recente, o mercado de produção de H2V já conta com algumas certificações ao redor do mundo (ver Tabela 2.3). Nesse sentido, a União Europeia e a China são os locais onde já se é possível utilizar a certificação como forma de garantir que o hidrogênio produzido é realmente sustentável. Outros países, a exemplo do Canadá e Austrália, ainda estão em processo de desenvolvimento de uma certificação que alcance seus objetivos internos.

A despeito da relevância interna de cada uma das certificações existentes nos diferentes países, nos dias atuais ainda não há uma certificação internacional para o H2V, com amplo reconhecimento e aceitabilidade.

**TABELA 2.3** Visão geral dos regulamentos e padrões associados ao H2V no mundo.

**TABLE 2.3** *Overview of the regulations and standards associated with GH2 in the world.*

| PAÍS *COUNTRY* | NOMENCLATURA *NOMENCLATURE* | STATUS *STATUS* | SETOR ABRANGENTE *COMPREHENSIVE SECTOR* | PADRÃO *STANDARD* |
|---|---|---|---|---|
| Alemanha *Germany* | TÜV Süd | Implementado *Implemented* | Transporte e Indústria *Transportation & Industry* | CMS 70 |
| Austrália *Australia* | National Hydrogen Strategy | Sobre consulta *Consulting* | Transporte e Indústria *Transportation & Industry* | Zero Carbon Certification Scheme |
| Canadá *Canada* | Clean Fuel Standard | Em desenvolvimento *Developing* | Transporte *Transportation* | CertiHyTM Canada |
| China *China* | Hydrogen Fuel Cell Vehicle (FCV) Technology Roadmap | Implementado *Implemented* | Indústria de Energia *Energy Industry* | China Hydrogen Alliance's Standard |
| UE *EU* | RED II | Implementado *Implemented* | Transporte *Transportation* | ISCC, RSB, CertifHy™ |

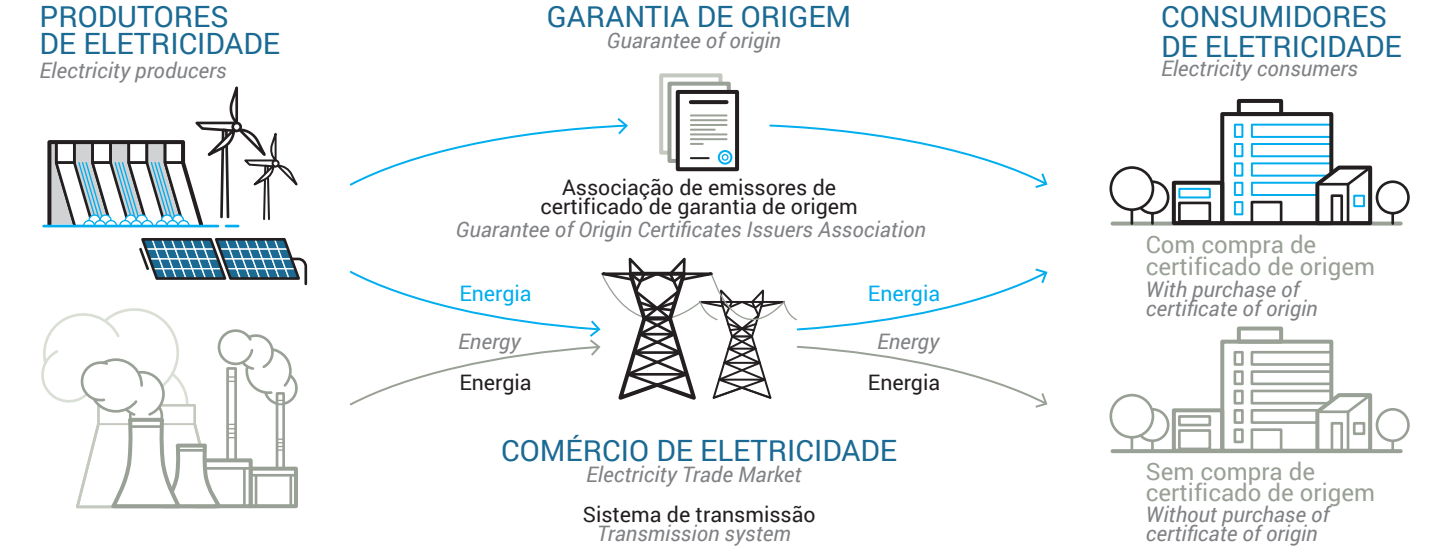
FONTE / *SOURCE*: WEC[51] (ADAPTADO / *ADAPTED*).

## 2.6.2 CERTIFICADO DE GARANTIA DE ORIGEM

Certificados de garantia de origem são títulos produzidos a cada 1 MWh de energia elétrica renovável gerada e que podem ser comercializados de forma independente da energia em si. Em geral, contêm informações como o tipo de fonte renovável, local do recurso renovável, data de geração, perfil de emissões da fonte geradora e uma identificação numérica única. Os consumidores "apresentam" um certificado de modo a garantir a fonte renovável da energia utilizada. Cada certificado só pode ser "apresentado" uma única vez[52]. A Figura 2.15 ilustra um cenário de comercialização de certificados de garantia de origem de energia renovável.

***FIGURA 2.15*** Mecanismos para utilização de um Certificado de Garantia de Origem.

***FIGURE 2.15*** *Mechanisms for using a Guarantee of Origin Certificate.*




ILUSTRAÇÕES / *ILLUSTRATIONS*: LEO GIBRAN

FONTE / *SOURCE*: TRACKMYELECTRICITY[53] (ADAPTADO / *ADAPTED*).

No Brasil existem duas plataformas para emissão de certificados de garantia de origem, a International REC Standard Foundation (I-REC) e a RECFY. No ano de 2021, cerca de 266 usinas já estavam cadastradas na I-REC, totalizando uma potência de 33.562 MW[54]. Essa marca posiciona o país em destaque como aquele que possui maior número de usinas cadastradas nessa certificação na atualidade (ver Gráfico 2.1). No estado da Bahia, vale destacar a negociação da Unigel com FURNAS para cessão de 1 milhão de certificados de garantia (RECFY), que permitiram a comprovação da origem renovável da energia consumida pela empresa nos anos de 2021 e 2022. Com essa iniciativa, a Unigel certificou cerca de 80% da energia elétrica consumida por todas as suas operações no Brasil no período de dois anos[55].

Atualmente, ainda não existe um certificado de origem renovável com aceitabilidade e utilização global. Cada país, de acordo com as especificidades desejadas para produção do hidrogênio, tem utilizado uma determinada certificação. É importante destacar que tais certificados são legitimamente reconhecidos por uma infinidade de governos (por exemplo, Emirados Árabes Unidos, Israel, Tailândia, Cingapura e locais na América do Sul), pelas partes interessadas no mercado de eletricidade e pelos operadores de rede.

### 2.6.2 GUARANTEE OF ORIGIN CERTIFICATE

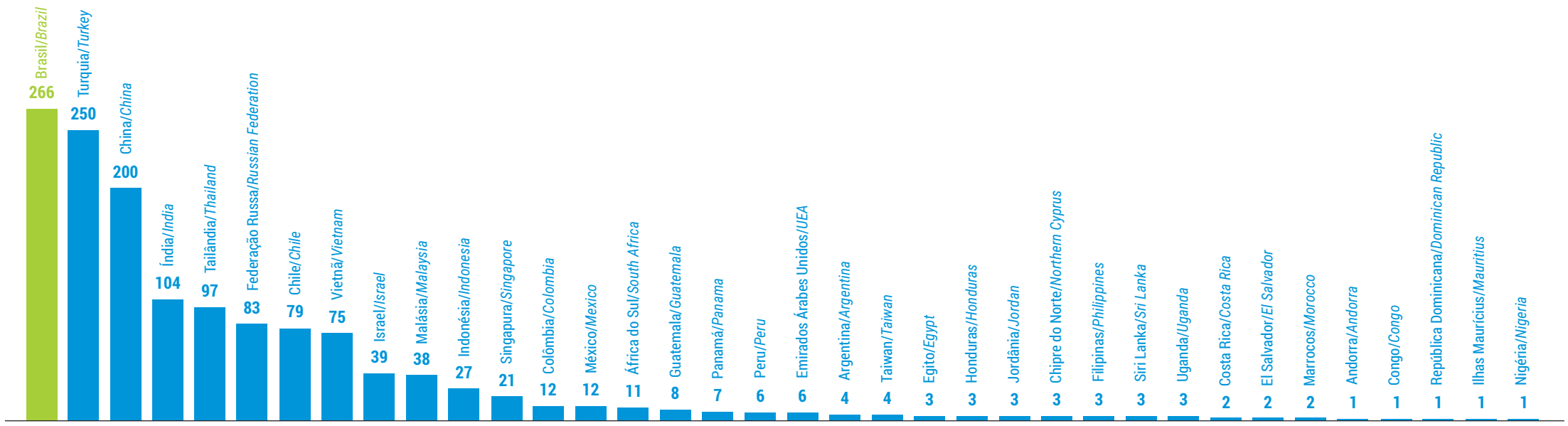
*Guarantee of Origin Certificates are securities produced for every 1MWh of renewable electricity generated, and which can be traded independently of the energy itself. They typically contain information such as the type of renewable source, location of the renewable resource, date of generation, emissions profile of the generating source, and a unique numeric identification. Consumers "present" a certificate in order to guarantee the renewable source of the energy used. Each certificate can only be "presented" once[52]. Figure 2.15 illustrates a scenario of trading renewable energy Guarantee of Origin Certificates.*

*In Brazil there are two platforms for issuing Guarantee of Origin Certificates, the International REC Standard Foundation (I-REC) and RECFY. In 2021, about 266 plants were already registered with I-REC, totaling a power output of 33,562 MW[54]. This mark positions the country as the one with the largest number of plants registered in this certification at the present time (see Chart 2.1). In Bahia State, it is worth highlighting Unigel's negotiation with FURNAS for the assignment of 1 million guarantee certificates (RECFY), which allowed for the accreditation of the renewable origin of the energy consumed by the company in the years 2021 and 2022. With this initiative, Unigel certified around 80% of the electricity consumed by all its operations in Brazil in the two-year period[55].*

*Currently, there is still no renewable origin certificate with global acceptance and use. Each country, according to the specific requirements for the production of hydrogen, has used a certain certification. Importantly, such certificates are legitimately recognized by a number of governments (e.g. United Arab Emirates, Israel, Thailand, Singapore, and places in South America), by parties interested in the electricity market, and by power supply operators.*

***GRÁFICO 2.1*** Relação de países com usinas cadastradas no sistema I-REC.

***CHART 2.1*** *List of countries with plants registered in the I-REC system.*




DADOS REFERENTES AO PERÍODO ENTRE OS ANOS DE 2014 E 2021 / *DATA REFERRING TO THE PERIOD BETWEEN THE YEARS 2014 AND 2021.* FONTE / *SOURCE:* INSTITUTO TOTUM[54] (ADAPTADO) / *ADAPTED FROM TOTUM INSTITUTE[54].*

H2V Atlas Bahia

# MEIO AMBIENTE

*ENVIRONMENT*

## 3.1 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O estudo da legislação ambiental e o acompanhamento da sua evolução é de fundamental importância para o sucesso da implementação de empreendimentos para produção de Hidrogênio Verde. Nesse contexto, a base da legislação ambiental vigente em âmbito federal inclui o novo Código Florestal Brasileiro[1], a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA)[2], as resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA)[3], [4], dentre outras. Em âmbito estadual, destacam-se a Política de Meio Ambiente do estado da Bahia[5], a Política Estadual de Recursos Hídricos[6] e a Política Estadual de Resíduos Sólidos da Bahia[7].

No Brasil, a localização, implantação, operação e alteração de empreendimentos e atividades que utilizam recursos ambientais com potencial de causar impacto ambiental, dependem do licenciamento ambiental. Esse processo se configura como um ato administrativo pelo qual os órgãos ambientais avaliam e estabelecem as condições, restrições e medidas de controle ambiental, os quais devem ser realizados em processo único, considerando a avaliação de impacto ambiental, obtenções de outorga de direito de uso de recursos hídricos e de supressão de vegetação nativa. Em situações específicas, onde a abrangência do impacto do empreendimento englobe áreas protegidas, se faz necessário obter anuências do órgão gestor da Unidade de Conservação ou, no caso das Reservas Particulares de Patrimônio Natural (RPPN), por parte do órgão responsável pela sua criação.

De maneira geral, o processo de licenciamento ambiental considera a natureza, o porte e o potencial poluidor dos empreendimentos e atividades, além das características do ecossistema e da capacidade de suporte dos recursos ambientais envolvidos. Ao longo do processo também são observados os critérios estabelecidos pelos órgãos do Sistema Estadual do Meio Ambiente (SISEMA).

### 3.1.1 EMPREENDIMENTOS PARA PRODUÇÃO DE H2V

O Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) é responsável pelo licenciamento de empreendimentos para geração de energia elétrica por fonte eólica, energia solar fotovoltaica, construção de linhas de transmissão de energia elétrica e, mais recentemente, para produção de Hidrogênio Verde no estado da Bahia. Em conjunto com os órgãos e entidades da Administração Pública Estadual e a sociedade civil organizada, o INEMA busca agilizar e garantir a qualidade dos processos ambientais na Bahia. Essa articulação permite que os empreendimentos sejam implementados de forma responsável e sustentável, respeitando as exigências legais e as necessidades da sociedade. O trabalho do INEMA é fundamental para a consolidação da Bahia como um importante polo de produção de H2V e energia renovável, além da garantia da preservação do meio ambiente na região.

O licenciamento ambiental de uma nova unidade para produção de H2V via eletrólise deverá seguir as mesmas etapas exigidas para qualquer outro empreendimento, representadas na Figura 3.1. Como não consta uma tipologia específica para a produção de Hidrogênio Verde no Decreto nº 18.218 de 26 de janeiro de 2018, deve-se considerar para o seu licenciamento o grupo C6 – Fabricação de Produtos Químicos até que haja uma nova alteração do Decreto nº 14.024, de 06 de junho de 2012. Nos casos de empresas que já operacionalizam processos relacionados a produção de hidrogênio, é possível solicitar uma licença de alteração da licença existente.

**FIGURA 3.1** Etapas do licenciamento ambiental.

**FIGURE 3.1** *Environmental licensing steps.*

## 3.1 ENVIRONMENTAL LICENSE

*The study of environmental legislation and the follow-up of its evolution is of fundamental importance for the successful implementation of Green Hydrogen production projects. In this context, the basis of current environmental legislation at the federal level includes the new Brazilian Forest Code[1], the National Environmental Policy (PNMA)[2] and the resolutions of the National Environmental Council (CONAMA)[3], [4] among others. At the state level, the Environmental Policy of Bahia State[5], the State Policy of Water Resources[6] and the State Policy of Solid Waste of Bahia stand out[7].*

*In Brazil, the location, implementation, operation and alteration of enterprises and activities that use environmental resources and have the potential to cause environmental impact depend on environmental licensing. This process is shaped as an administrative act by which the environmental agencies evaluate and establish conditions, restrictions and environmental control measures, which must be carried out in a single process, considering the environmental impact assessment, the granting of the right to use water resources and the suppression of native vegetation. In specific situations, where the scope of the project's impact affects protected areas, it is necessary to obtain consent from the governing body of the Conservation Unit or, in the case of Private Natural Heritage Reserves – RPPN, from the party of the body responsible for creating them.*

*In general, the environmental licensing process considers the nature, size, and polluting potential of the enterprises and activities, besides the characteristics of the ecosystem and also of the the carrying capacity of the environmental resources involved. Throughout the process, the criteria established by the agencies of the State Environmental System – SISEMA – are also observed.*

### 3.1.1 ENTERPRISES FOR GH2 PRODUCTION

*The Institute of Environment and Water Resources (INEMA) is responsible for licensing enterprises for electricity generation from wind, photovoltaic solar energy, construction of power transmission lines and, more recently, for the production of Green Hydrogen in Bahia. Together with the organs and entities of the State Public Administration and organized civil society, INEMA seeks to speed up and guarantee the quality of the environmental processes in Bahia. This articulation allows the enterprises to be implemented in a responsible and sustainable way, respecting the legal requirements and the needs of the society. INEMA's work is fundamental for the consolidation of Bahia as an important pole of production of GH2 and renewable energy, besides the guarantee of the preservation of the environment in the region.*

*The environmental licensing for a new GH2 production plant via electrolysis should follow the same steps required for any other enterprise, represented in Figure 3.1. Since there is no specific typology for Green Hydrogen production in Decree No. 18,218 of January 26, 2018, the group C6 - Manufacture of Chemical Products should be considered for its licensing until there is a new amendment to Decree No. 14.024 , of June 6, 2012.*

*For projects or activities involving multiple typologies, environmental licensing must take into account the classification, or framework, of greatest polluting potential. This situation could occur, for example, when an entrepreneur chooses to produce H2V associated with the generation of electricity from wind or solar sources, with new farms and photovoltaic plants being built, or when there is a need to build new power transmission lines and/or pipelines.*

*It is important to emphasize that the enterprises for the production of GH2 will play a key role in the promotion of a more sustainable and clean national energy matrix. Despite this, they must strictly comply with the requirements of the legislation, the licensing conditions, and the regulations regarding solid waste destination and with the standards for discharging effluents into water bodies effective in Brazil and in Bahia State, when applicable, as well as request the concession for water extraction, to be used in its electrolysis process. Through the granting of concessions it is possible to guarantee the effective exercise of rights of access to water resources by interested users, being an important instrument to minimize conflicts among the various sectors that use these resources[8].*

*Bahia became the first state in Brazil to grant a license for GH2 production[9]. The feasibility of this project is largely due to the abundance of wind and solar farms in operation in the region, as well as the presence of the Camaçari Industrial Complex, the largest integrated industrial complex in the Southern Hemisphere. Scheduled to be installed as early as 2023, the licensed GH2 production project involved a request for a License of Amendment to the existing Operation License, since the company currently produces hydrogen, ammonia and other products derived from fossil fuels in a conventional manner[9].*

*It is worth noting that Brazil still lacks a regulatory framework at the legal level that comprehensively addresses issues such as environmental licensing, implementation, concession model, and mode of exploitation for Green Hydrogen production. However, a pioneering measure was adopted by the Ceará State, which approved State Resolution No. 03/2022 on February 10, 2022.[10]. This Resolution establishes the procedures, criteria, and parameters applicable to Environmental Licensing and Authorization for GH2 production enterprises in its territory. Initiatives like this pave the way for the definition of a regulating milestone in Brazil, which is fundamental to guarantee legal security to the promising Green Hydrogen market in the country.*

### 3.1.2 CONCESSION OF THE RIGHT TO USE WATER RESOURCES

*The granting of the use of water resources is subject to the permission processes, characterized as one of the fundamental instruments of Water Resources National Policies[11] and State Policies[6], also known as the "water law". These policies aim to guarantee the adequate management of water and its multiple uses, with the main objective of ensuring the availability of water with adequate quality standards for current and future generations, as well as the rational and integrated use of water resources with a view to sustainable development.*

*In Bahia, the authorization process is conducted by the Institute for the Environment and Water Resources (INEMA), in accordance with the legislation and guidelines set forth in the State Plan for Water Resources (PERH). The latter is configured as a Master Plan, strategic in nature and statewide in scope, which aims to base and guide the implementation of the State Policy for Water Resources and the management of water resources, as well as to define the institutional mechanisms necessary to achieve integrated and sustainable water management[12].*

*It is crucial to emphasize the importance of regular updates of the PERH, which should contemplate new demands and changes resulting from the social and economic development. Currently, the PERH is undergoing an extensive revision that takes into account the environmental, legal, economic, and social changes that have occurred in the last five years, in order to promote decentralized water management and encourage the participation of public authorities, water users and local communities. The purpose is to ensure that water resource management is sustainable and meets the current and future needs of the population[12].*

*Regarding the water resources management units in Bahia, after several proposals made since the 1990s, 25 Planning and Water Management Regions (RPGAs) were created in the state. The RPGAs are currently considered units for the management of the territory and are adopted by the state government as the main model for hydrographical division[13].*

*Regarding the use of water resources for the production of GH2 via electrolysis, the projects must be analyzed by INEMA based on the availability of surface and groundwater in the region of interest, as well as its current and planned multiple uses. It is essential to consider the sustainability and responsible management of water resources to ensure that productive activities bring social and economic development while preserving the quality of the environment and ecological balance, thus complying with what is determined in the National Environmental Policy.*

Para empreendimentos ou atividades que envolvam múltiplas tipologias, o licenciamento ambiental deverá levar em conta a classificação, ou enquadramento, de maior potencial poluidor. Essa situação poderá ocorrer, por exemplo, quando um empreendedor optar pela produção de H2V associada à geração de energia elétrica por fonte eólica ou solar, com novos parques e usinas fotovoltaicas sendo construídas, ou quando houver necessidade de construção de novas linhas de transmissão de energia elétrica e/ou dutos de escoamento.

É importante ressaltar que os empreendimentos voltados para a produção de H2V irão desempenhar um papel fundamental na promoção de uma matriz energética nacional mais sustentável e limpa. A despeito disso, devem cumprir rigorosamente com os requisitos da legislação, com as condicionantes de licença e com as normativas referentes à destinação de resíduos sólidos e com os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos vigentes no Brasil e no estado da Bahia, quando aplicáveis, bem como solicitar a outorga de a captação de água a ser utilizada em seu processo de eletrólise. Por meio da outorga é possível garantir o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos por parte dos usuários interessados, sendo um importante instrumento para minimizar os conflitos entre os diversos setores que se utilizam desses recursos[8].

A Bahia tornou-se o primeiro estado do Brasil a conceder uma licença para produção de H2V[9]. A viabilização desse projeto se deve, em grande parte, à abundância de parques eólicos e solares em operação na região, bem como à presença do Polo Industrial de Camaçari, o maior complexo industrial integrado do Hemisfério Sul. Previsto para ser instalado ainda em 2023, o projeto de produção de H2V licenciado envolveu a solicitação de uma Licença de Alteração da Licença de Operação existente, visto que a empresa atualmente produz de maneira convencional o hidrogênio, a amônia e outros produtos derivados de combustíveis fósseis[9].

Cabe ressaltar que o Brasil ainda carece de um marco regulatório no âmbito legal que aborde de forma abrangente questões como licenciamento ambiental, implementação, modelo de concessão e modo de exploração para a produção de Hidrogênio Verde. No entanto, uma medida pioneira foi adotada pelo estado do Ceará, que em 10 de fevereiro de 2022 aprovou a Resolução Estadual nº 03/2022[10]. Essa Resolução estabelece os procedimentos, critérios e parâmetros aplicáveis ao Licenciamento e Autorização Ambiental para empreendimentos de produção de H2V em seu território. Iniciativas como essa pavimentam o caminho para a definição de um marco regulatório no Brasil, o que é fundamental para garantir segurança jurídica ao promissor mercado do Hidrogênio Verde no país.

### 3.1.2 OUTORGA DE DIREITO DE USO DE RECURSOS HÍDRICOS

A concessão de uso de recursos hídricos está sujeita aos processos de outorga, caracterizado como um dos instrumentos fundamentais das Políticas Nacional[11] e Estadual de Recursos Hídricos[6], também conhecida como "lei das águas". Tais políticas visam garantir o adequado gerenciamento das águas e seus usos múltiplos, tendo como principal objetivo assegurar a disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequadas, a atual e futuras gerações, além da utilização racional e integrada dos recursos hídricos com vistas ao desenvolvimento sustentável.

Na Bahia, o processo de outorga é conduzido pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA), de acordo com as legislações e diretrizes previstas no Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH). Este último se configura como um Plano Diretor, de natureza estratégica e de abrangência estadual, que visa fundamentar e orientar a implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos, além de definir os mecanismos institucionais necessários à gestão integrada e sustentável das águas[12].

É crucial enfatizar a importância das atualizações regulares do PERH, que devem contemplar novas demandas e mudanças decorrentes do desenvolvimento socioeconômico. Atualmente, o PERH está passando por uma extensa revisão, que leva em conta as mudanças ambientais, legais, econômicas e sociais ocorridas nos últimos cinco anos, a fim de promover a gestão descentralizada das águas e incentivar a participação do poder público, dos usuários das águas e das comunidades locais. O objetivo é garantir que a gestão dos recursos hídricos seja sustentável e atenda às necessidades atuais e futuras da população[12].

No que diz respeito às unidades de gestão dos recursos hídricos na Bahia, após várias propostas apresentadas desde a década de noventa, foram criadas 25 Regiões de Planejamento e Gestão das Águas (RPGAs) no estado. As RPGAs são consideradas atualmente unidades de gestão do território e são adotadas pelo governo estadual como o principal modelo de divisão hidrográfica[13].

Quanto à utilização dos recursos hídricos para produção de H2V via eletrólise, os empreendimentos deverão ser analisados pelo INEMA com base na disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas da região em questão, bem como em seus usos múltiplos atuais e previstos. É essencial considerar a sustentabilidade e a gestão responsável dos recursos hídricos para garantir que as atividades produtivas tragam desenvolvimento socioeconômico, mantendo a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico, cumprindo assim o que está determinado na Política Nacional de Meio Ambiente.

## 3.2 ÁREAS DE PROTEÇÃO NO ESTADO DA BAHIA

Considerando a relação indissociável entre a produção de H2V e a geração de energias renováveis, como é o caso da eólica e solar fotovoltaica, é inevitável a utilização de novas áreas para implantação desses empreendimentos. No entanto, durante o processo de seleção dos locais de implantação, é crucial considerar as áreas prioritárias para conservação, independente do seu potencial de produção. Desse modo, faz-se necessário observar, compreender e respeitar o histórico e as premissas que conduziram à instalação das Unidades de Conservação existentes no estado da Bahia.

A Bahia destaca-se pela variedade de ambientes físicos e bióticos, contemplando em seu território três diferentes biomas brasileiros e o Sistema Costeiro-Marinho. No estado, encontramos os biomas Cerrado a oeste, Caatinga na região central e norte e Mata Atlântica na porção sudeste e leste, além dos ambientes Costeiro e Marinho[14]. A cobertura vegetal inclui mais de 20 fitofisionomias, tais como florestas ombrófilas, restingas, mangues, caatinga, cerrado, veredas, dentre outras[15]. A zona litorânea abriga uma grande diversidade de organismos costeiros e marinhos[16], com destaque para o primeiro parque nacional marinho do Brasil, o Arquipélago dos Abrolhos[17]. Em resumo, o território baiano exibe um cenário rico, composto por um complexo mosaico de ecossistemas terrestres, dulcícolas, costeiros e marinhos, com vegetação e fauna diversificadas, fazendo da Bahia um dos estados mais biodiversos do Brasil[15], [18].

Como forma de proteger o seu patrimônio natural, o estado, em conjunto com o Governo Federal, mantém 77 Unidades de Conservação (UCs) federais e estaduais, das quais 31 são de Proteção Integral. Além dessas, ainda há dezenas de UCs municipais. As UCs são áreas de preservação regulamentadas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC[19]) e classificadas em categorias de manejo, de acordo com sua importância e objetivos. Conforme as restrições impostas, as categorias são agrupadas em Unidades de Proteção Integral (UPIs) e Unidades de Uso Sustentável (UUSs). Nas UPIs, é permitido apenas o "uso indireto dos recursos naturais". Nas UUSs, permite-se a utilização parcial dos recursos, podendo admitir, inclusive, a presença de empreendimentos de geração de energia, desde que em conformidade com o plano de manejo[15], [19]. Ao avaliar os empreendimentos voltados para a produção de H2V, é importante reconhecer que, apesar de seu baixo potencial poluidor, existem alguns riscos ambientais a serem considerados. Um exemplo relevante é a natureza inflamável do hidrogênio, o que requer adoção de medidas preventivas contra acidentes ambientais.

A Tabela 3.1 relaciona as UUSs e UPIs estaduais e federais do estado da Bahia. A localização das UCs é representada no Mapa 3.1.

*FIGURA 3.2* Parque Nacional da Chapada Diamantina. Categorizado como uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, faz parte do conjunto de serras e planaltos do relevo do estado e está situado no centro da Bahia.

*FIGURE 3.2 Chapada Diamantina National Park. Categorized as a Full Protection Conservation Unit, it is part of a group of mountains and plateaus of the state's relief and is located in the center of Bahia.*

FOTO / *PHOTO*: ZIG KOCH

## 3.2 PROTECTED AREAS IN BAHIA STATE

*Considering the close relationship between GH2 production and renewable energy generation, such as wind and solar photovoltaic, the use of new areas for these developments is inevitable. However, during the site selection process, it is crucial to consider priority areas for conservation, regardless of their production potential. Thus, it is necessary to observe, understand and respect the history and the premises that led to the installation of the existing Conservation Units in Bahia State.*

*Bahia stands out for its variety of physical and biotic environments, contemplating in its territory three different Brazilian biomes and the Coastal-Marine System. In the state we find the Cerrado in the west, the Caatinga in the central and northern regions, the Atlantic Forest in the southeast and east, and also the Coastal and Marine environments[14]. The vegetation cover includes more than 20 types of phytophysiognomies, such as ombrophilous forests, sandbanks, mangroves, Caatinga, Cerrado, grasslands, among others[15]. The coastal zone shelters a great diversity of coastal and marine organisms[16], with emphasis on Brazil's first marine national park, the Abrolhos Archipelago[17]. It is a rich scenario, composed of a complex mosaic of terrestrial, freshwater, coastal and marine ecosystems, with diverse vegetation and fauna, making Bahia one of the most biodiverse states in Brazil[15], [18].*

*In order to protect its natural resources, the state, together with the Federal Government, maintains 77 federal and state Conservation Units (UCs), of which 31 are fully protected. Besides these, there are also dozens of municipal UCs. The UCs are preservation areas regulated by the National System of Conservation Units - SNUC[19] and classified into management categories, based on their importance and objectives. According to the restrictions imposed, the categories are grouped into Full Protection Units (UPIs) and Sustainable Use Units (UUSs). In the UPIs, only the "indirect use of natural resources" is allowed. In the UUSs, partial use of the resources is allowed, and even the presence of energy generation projects can be admitted, as long as it is in accordance with the management plan.[15], [19]. When evaluating ventures aimed at GH2 production, it is important to recognize that, despite its low polluting potential, there are some environmental risks to be considered. A relevant example is the flammable nature of hydrogen, which requires the adoption of preventive measures against environmental accidents.*

*Table 3.1 lists the state and federal UUSs and UPIs in Bahia State. The location of the UUSs is represented in Map 3.1.*

## 3.2.1 CONSERVATION UNITS

*Given the remarkable wind[20] and solar[15] potential calculated over some areas of caatinga classified as priority for conservation, and considering that renewable energy produced from these sources is fundamental for the production of GH2 in Bahia, it is fundamental to observe, understand and respect the history and premises that led to the installation of the Conservation Units in these areas.*

*In this sense, the Morro do Chapéu State Park (Figure 3.3) stands out, containing archeological sites with cave paintings, relevant geological formations, an infinity of springs, the presence of big cats, as well as many species of fauna and flora endemic[21] and/or under threat of extinction[22]–[24].*

*More recently, in 2018, the creation of the Boqueirão da Onça National Park (Figure 3.4) was approved, located in the Bahia municipalities of Sento Sé, Juazeiro, Sobradinho, and Campo Formoso. Among the main objectives of the creation of this UC are the preservation of endangered, rare or endemic species that occur in the region, such as the jaguar (*Panthera onça*), the hyacinth macaw (*Anodorhynchus leari*) and the Brazilian armadillo (*Tolypeutes tricinctus*); the protection of karst formations and the associated paleontological and archeological sites; in addition to the enhancement of natural landscapes and scenic beauties, providing the development of recreational activities in contact with nature and ecological tourism[25].*

*Similarly, as water is an indispensable input for the production of GH2 via electrolysis, the regions with high water potential classified as priority for conservation are also worth mentioning. An example of this is the area of influence of the Sobradinho Dam Lake, considered of high to extreme biological importance for the conservation of Caatinga biodiversity[26]. The Environmental Protection Area (APA) of the Sobradinho Lake (Figure 3.5) is located around the Sobradinho Lake in the municipalities of Casa Nova, Remanso, Pilão Arcado, Sento Sé and Sobradinho[27].*

*The Sobradinho Lake, more specifically, is located in the Submédio region of the São Francisco River, north of Bahia State. With an area of approximately 4,214.31 km², this lake is one of the largest artificial lakes in the world, capable of storing about 34 billion m³ of water. Its construction had as its main objective to regularize the flow of the São Francisco River, raising the minimum flow from 700 $m^3.s^{-1}$ to approximately 2,060 $m^3.s^{-1}$, thus ensuring the continuous operation of the plants located downstream[28]. The Sobradinho Hydroelectric Plant has an installed capacity of 1,050.3 MW and has been in operation since 1979[29]. In addition, this dam retains volumes of water used for agriculture and supplying nearby cities[30].*

*Despite the high hydric potential of the reservoirs for hydroelectric generation, it is worth noting the existence of legal restrictions on the use of these waters for other purposes. As an example, Law No. 9984 of July 17, 2000, in its Art. 7 and Paragraph 1, stipulates that a certain flow rate must be guaranteed for hydroelectric use, limiting the use of water for consumption upstream of the plant.*

## 3.2.1 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Dado o notável potencial eólico[20] e solar[15] calculado sobre algumas áreas de caatinga classificadas como prioritárias para conservação, e considerando que a energia renovável produzida a partir dessas fontes é fundamental para a produção de H2V na Bahia, faz-se fundamental observar, compreender e respeitar o histórico e as premissas que conduziram à instalação das Unidades de Conservação nessas áreas.

Nesse sentido, destaca-se o Parque Estadual do Morro do Chapéu (Figura 3.3), contendo sítios arqueológicos com registro de pinturas rupestres, relevantes formações geológicas, uma infinidade de nascentes, presença de grandes felinos, além de muitas espécies da fauna e da flora endêmicas[21] e/ou ameaçadas de extinção[22]–[24].

Mais recentemente, em 2018, foi decretada a criação do Parque Nacional do Boqueirão da Onça (Figura 3.4), localizado nos Municípios Baianos de Sento Sé, Juazeiro, Sobradinho e Campo Formoso. Dentre os principais objetivos da criação dessa UC, destacam-se a preservação de espécies ameaçadas de extinção, raras ou endêmicas que ocorrem na região, tais como a onça-pintada (*Panthera onca*), a arara-azul-de-lear (*Anodorhynchus leari*) e o tatu-bola (*Tolypeutes tricinctus*); a proteção das formações cársticas e os sítios paleontológicos e arqueológicos associados; além da valorização das paisagens naturais e belezas cênicas, proporcionando o desenvolvimento de atividades de recreação em contato com a natureza e do turismo ecológico[25].

Da mesma maneira, sendo a água um insumo imprescindível para a produção do H2V via eletrólise, também merecem destaque as regiões de alto potencial hídrico classificadas como prioritárias para conservação. Um exemplo disso é a área de influência do Lago da Barragem de Sobradinho, considerada de importância biológica entre alta a extrema para conservação da biodiversidade da Caatinga[26]. A Área de Proteção Ambiental (APA) do Lago de Sobradinho está contemplada no entorno do Lago de Sobradinho (Figura 3.5), nos municípios de Casa Nova, Remanso, Pilão Arcado, Sento Sé e Sobradinho[27].

O Lago de Sobradinho, de forma mais específica, localiza-se na região do Submédio do Rio São Francisco, ao norte do estado da Bahia. Com uma extensão de aproximadamente 4.214,31 km², esse é um dos maiores lagos artificiais do mundo, capaz de armazenar cerca de 34 bilhões de m³ de água. Sua construção teve como objetivo principal regularizar o fluxo do Rio São Francisco, elevando a vazão mínima de 700 $m^3.s^{-1}$ para aproximadamente 2.060 $m^3.s^{-1}$, assegurando assim o funcionamento contínuo das usinas localizadas rio abaixo[28]. A Usina Hidroelétrica de Sobradinho possui uma capacidade instalada de 1.050,3 MW e está em operação desde 1979[29]. Além disso, essa barragem represa volumes de água utilizados para a agricultura e abastecimento das cidades próximas[30].

A despeito do elevado potencial hídrico dos reservatórios com fins de geração hidrelétrica, vale ressaltar a existência de restrições legais ao uso dessas águas para outros objetivos. Como exemplo, a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, no seu Art. 7° e Parágrafo 1º, prevê a necessidade de garantia de determinada vazão ao aproveitamento hidrelétrico, limitando o uso consuntivo de água a montante do aproveitamento.

***FIGURA 3.3*** Área de caatinga inserida no Parque Estadual do Morro do Chapéu. A despeito do elevado potencial eólico e solar, caracteriza-se como uma área de relevância socioambiental significativa para o estado da Bahia.

***FIGURE 3.3*** *Area of caatinga inserted in the Morro do Chapéu State Park. Despite the high wind and solar potential, it is characterized as an area of significant social and environmental relevance for Bahia State.*

FOTO / *PHOTO:* ZIG KOCH

***FIGURA 3.4*** A onça-pintada, apesar de ameaçada de extinção, pode ser encontrada no Parque Nacional do Boqueirão da Onça, um refúgio para a vida selvagem. Na imagem abaixo, individuo fotografado no Zoológico de Salvador, Bahia.

***FIGURE 3.4*** *The Brazilian jaguar, although threatened with extinction, can be found in the Boqueirão da Onça National Park, a refuge for wildlife. In the image below, an individual photographed at Salvador Zoo, Bahia.*

FOTO / *PHOTO*: ADENILSON NUNES/GOVBA

***FIGURA 3.5*** Área de Proteção Ambiental do Lago de Sobradinho. A barragem, que leva o mesmo nome, represa um dos maiores lagos artificiais do mundo, utilizado essencialmente para geração hidrelétrica, agricultura e abastecimento humano.

***FIGURE 3.5*** *Environmental Protection Area of the Sobradinho Lake. The dam, which bears the same name, holds one of the largest artificial lakes in the world, used essentially for hydroelectric generation, agriculture, and human supply.*

FOTO / *PHOTO*: ZIG KOCH

### 3.2.2 INDIGENOUS LANDS, QUILOMBOS AND AGRICULTURAL SETTLEMENTS

*In Bahia there are currently 26 areas declared as Indigenous Territory, concentrated in the South, Northeast, between the São Francisco and Vaza-Barris valleys, and in the West of the state. These areas are important both for the preservation of the ethnic and cultural heritage of the native peoples and for the mitigation of climate change, since they have low rates of illegal deforestation[18].*

*Today, the state has a diversity of 30 indigenous peoples, in almost 200 communities, totaling 60 thousand individuals, living in 47 municipalities[31]. There are also 39 Quilombos, more than 550 agricultural settlements, in various stages of demarcation, and 150 projects of Fundo de Pasto, the so-called Traditional Communities, some of which overlap on Conservation Units[32].*

*Map 3.1 shows the distribution of these special areas. The respective Quilombos and Indigenous Lands are also listed in Table 3.1.*

*The construction of Green Hydrogen production projects on indigenous lands depends on a Presidential Decree indicating that the project is a public construction of interest to national development[33]. The Brazilian Federal Constitution of 1988 provides for the guarantee of indigenous rights, and establishes that the use of water resources, including energy potentials, and the research and extraction of mineral wealth on indigenous lands, can only be carried out with the authorization of the National Congress, after hearing the affected communities[34].*

*The lands occupied by Quilombo communities are essential to guarantee their physical, social, economic, and cultural reproduction. The land regularization policy for Quilombola Territories plays a crucial role as a form of historical reparation and to ensure the dignity and continuity of these ethnic groups[35]. For the reasons mentioned above, restrictions are imposed on any type of enterprise with any potential to impact the quilombo, whether located within its borders or in neighboring areas[36].*

*In order to promote the development of enterprises in agricultural settlements, it is necessary to consider a period of 10 years from the concession of land use to the beneficiaries. Only after this period will it be possible to transfer the use of the land to third parties, either through acquisition or leasing.[37].*

*In summary, it is crucial to avoid the implementation of new wind, solar photovoltaic, and GH2 generation projects in areas of Indigenous Lands, Quilombos, and Agricultural Settlements. It is also necessary to verify that the areas directly or indirectly affected by the enterprise do not include such situations. These measures aim to avoid unnecessary conflicts related to land use.*

### 3.2.2 TERRAS INDÍGENAS, QUILOMBOS E ASSENTAMENTOS AGRÍCOLAS

Na Bahia existem atualmente 26 áreas declaradas como Território Indígena, concentradas nas regiões sul, nordeste, entre os vales do São Francisco e Vaza-Barris e no oeste do estado. Essas áreas são importantes tanto para a preservação da herança étnica e cultural dos povos originários quanto para a mitigação das mudanças climáticas, já que apresentam baixas taxas de desmatamento ilegal[18].

O estado possui hoje uma diversidade de 30 povos indígenas, em quase 200 comunidades, totalizando 60 mil indígenas, vivendo em 47 municípios[31]. Há também 39 Quilombos, mais de 550 Assentamentos Agrícolas, em diversos estágios de demarcação, e 150 projetos de Fundo de Pasto, as chamadas Comunidades Tradicionais, sendo que alguns desses se sobrepõem a Unidades de Conservação[32].

O Mapa 3.1 apresenta a distribuição dessas áreas especiais. Os respectivos Quilombos e Terras Indígenas também estão listados na Tabela 3.1.

A construção de empreendimentos para produção de Hidrogênio Verde em terras indígenas depende de decreto presidencial indicando a realização de obra pública de interesse ao desenvolvimento nacional[33]. A Constituição Federal Brasileira de 1988 prevê a garantia dos direitos indígenas e estabelece que o aproveitamento dos recursos hídricos, incluídos os potenciais energéticos, a pesquisa e a lavra das riquezas minerais em terras indígenas, só podem ser efetivados com autorização do Congresso Nacional, após ouvidas as comunidades afetadas[34].

As terras ocupadas pelas comunidades quilombolas são essenciais para garantir sua reprodução física, social, econômica e cultural. A política de regularização fundiária dos Territórios Quilombolas desempenha um papel crucial como forma de reparação histórica e para assegurar a dignidade e continuidade desses grupos étnicos[35]. Pelos motivos mencionados, impõem-se restrições a todo tipo de empreendimento com qualquer potencial para causar impactos ao quilombo, estando localizado dentro de seu perímetro ou em área vizinha[36].

Para promover o desenvolvimento de empreendimentos em assentamentos agrícolas, é necessário considerar um prazo de 10 anos a partir da concessão de uso da terra aos beneficiários. Somente após esse período é que será possível realizar a cessão do uso do solo a terceiros, seja por meio de aquisição ou arrendamento[37].

Em resumo, é fundamental evitar a implantação de novos empreendimentos de geração eólica, solar fotovoltaica e de produção de H2V em áreas de Terras Indígenas, Quilombos e Assentamentos Agrícolas. Também é necessário verificar se as áreas afetadas direta ou indiretamente pelo empreendimento não incluem tais situações. Essas medidas visam evitar conflitos desnecessários relacionados ao uso da terra.

***FIGURA 3.6*** Assentamento agrário e vila em Iraquara, município baiano localizado na microrregião da Chapada Diamantina.

***FIGURE 3.6*** *Agrarian settlement and village in Iraquara, a town in Bahia located in the Chapada Diamantina micro-region.*

## 3.3 HIDROGÊNIO VERDE E MEIO AMBIENTE

O Hidrogênio Verde é reconhecido como um vetor energético fundamental e estratégico para viabilizar a transição energética global, oferecendo inúmeras aplicações em setores diversos. Com potencial para descarbonizar áreas como mineração, siderurgia, transporte, uso energético e armazenamento de energia, o hidrogênio surge como uma solução viável para suprir demandas energéticas renováveis em setores onde a eletrificação é complexa. Além disso, a produção de "amônia verde" a partir de H2V é uma estratégia promissora para reduzir as emissões de gases de efeito estufa no agronegócio, minimizando os impactos ambientais da produção de fertilizantes à base de amônia.

Durante a etapa de consumo do H2V não há emissão de Gases do Efeito Estufa (GEEs). No entanto, as emissões de GEE em termo de $CO_2$ equivalente nas etapas de produção, armazenamento e transporte do H2V devem ser calculadas e compensadas. É importante considerar que toda tecnologia possui um impacto ambiental que deve ser avaliado ao longo do ciclo de vida do sistema de produto, seguindo as diretrizes da ABNT NBR: ISO 14040[38] e da ABNT NBR: ISO 14067[39]. Nesse sentido, é essencial avaliar as fases de extração de recursos, produção, instalação, operação, transporte e descomissionamento após a vida útil das instalações de modo a selecionar as opções mais sustentáveis disponíveis no mercado[15] e compensar os impactos das emissões.

FOTO / *PHOTO*: ZIG KOCH

Assim como ocorre para as tecnologias de produção de energia eólica e fotovoltaica, indispensáveis para a produção do Hidrogênio Verde, as diversas tecnologias de eletrólise apresentam diferentes níveis de impacto intrinsicamente relacionados ao consumo energético e às emissões de $CO_2$ equivalentes de cada material utilizado durante os processos de fabricação. O conceito de geração renovável implica que, do ponto de vista da emissão de GEEs, por exemplo, a fase de fabricação intensiva em uso de energia seja contrabalanceada com a fase de uso. Nesse ponto, a ABNT NBR: ISO 14064:1[40] especifica e orienta organizações na quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa, atuando como um importante instrumento para a padronização de métricas relacionadas aos GEEs. Além disso, na fase de fabricação dos eletrolisadores são produzidos e utilizados materiais e componentes contaminantes, como metais e polímeros, muitos dos quais requerem um destino adequado ao final de sua vida útil.

Dentre os impactos esperados durante a fase de implantação de novos empreendimentos industriais para produção H2V via eletrólise estão a alteração da paisagem, os deslocamentos de terra, a supressão da vegetação e alterações da drenagem do terreno devido à abertura e/ou melhoria de acessos. Na fase de operação, serão gerados resíduos sólidos e efluentes decorrentes do tratamento de água necessário para adequação aos padrões de entrada dos eletrolisadores comerciais. Além disso, há de se ressaltar que empreendimentos de grande porte deverão estar localizados preferencialmente em área industrial. Quando o projeto contemplar as atividades de produção e armazenamento de H2V no mesmo local, também deverão ser observadas as normas específicas vigentes de compressão e armazenamento para gases explosivos[10].

No que diz respeito às iniciativas para uso do H2V como vetor de descarbonização, a Bahia tem se destacado no cenário nacional. Um exemplo disso é o Programa Bahia + Verde, lançado de forma pioneira pelo Governo do Estado e que tem como foco a sustentabilidade. Esse programa integra um conjunto de ações e políticas para que a Bahia avance no cenário mundial de transição energética, uma vez que já ocupa posição de destaque na expansão do mercado global de energias renováveis, além de ter alta capacidade de produção e mercado favorável na indústria química, siderurgia e no agronegócio. O Programa Bahia + Verde está alinhado, ainda, com as leis estaduais 10.431/2006[5], 11.612/2009[6] e 12.050/2011[41], e em consonância com o acordo de Paris, a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas – COP26 – e o Acordo Regional sobre Acesso à Informação, Participação Pública e Acesso à Justiça em Assuntos Ambientais na América Latina e no Caribe[42].

## 3.3 GREEN HYDROGEN AND ENVIRONMENT

*Green Hydrogen is recognized as a fundamental and strategic energy vector to enable the global energy transition, offering numerous applications in diverse sectors. With potential to decarbonize areas such as mining, steelmaking, transportation, energy use, and energy storage, hydrogen emerges as a viable solution to meet renewable energy demands in sectors where electrification is complex. In addition, the production of "green ammonia" from GH2 is a promising strategy to reduce greenhouse gas emissions in agribusiness, minimizing the environmental impacts from the production of ammonia-based fertilizers.*

*During the GH2 consumption stage there are no Greenhouse Gas (GHG) emissions. However, GHG emissions in term of $CO_2$ equivalent in the production, storage and transportation stages of GH2 must be calculated and neutralized. It is important to consider that every technology has an environmental impact, which must be assessed throughout the life cycle of the product system, following the guidelines of ABNT NBR: ISO 14040[38] and ABNT NBR ISO 14067[39]. In this respect, it is essential to evaluate the phases of resource extraction, production, installation, operation, transportation, and decommissioning after the useful life of the facilities in order to select the most sustainable options available in the market[15] and compensate the impacts of emissions.*

*As is the case for wind and photovoltaic power generation technologies, indispensable for Green Hydrogen production, the various electrolysis technologies present different levels of impact intrinsically related to the energy consumption and $CO_2$ equivalent emissions of each material used during the manufacturing processes. The concept of renewable generation implies that, from a GHG emission point of view for example, the energy-intensive manufacturing phase is counterbalanced with the use phase. In this respect, ABNT NBR: ISO 14064:1[40] specifies and guides organizations in quantifying and reporting greenhouse gas emissions and removals, acting as an important instrument for standardizing GHG-related metrics. In addition, contaminating materials and components, such as metals and polymers, are produced and used in the manufacturing phase of electrolyzers, many of which require proper disposal at the end of their useful life.*

*Among the impacts expected during the implementation phase of new industrial enterprises for GH2 production via electrolysis are landscape alteration, land movement, vegetation removal, and changes in site drainage due to the opening and/or improvement of access roads. In the operation phase, solid waste and effluents will be generated as a result of the water treatment required to meet the input standards of the commercial electrolyzers. In addition, it should be noted that large enterprises should preferably be located in industrial areas. When the project contemplates GH2 production and storage activities at the same site, the specific standards in force for compression and storage of explosive gases must also be observed[10].*

*With respect to initiatives for the use of GH2 as a decarbonization vector, Bahia has distinguished itself in the national scenario. An example of this is the Bahia + Green Program, pioneered by the State Government and focused on sustainability. This program integrates a set of actions and policies for Bahia to advance in the global scenario of energy transition, since it already occupies a prominent position in the expansion of the global renewable energy market, besides having high production capacity and a favorable market in the chemical industry, steel industry and agribusiness. The Bahia + Green Program is also aligned with the state laws 10.431/2006[5], 11.612/2009[6] e 12.050/2011[41], and in line with the Paris Agreement, the United Nations Climate Change Conference - COP26 and the Regional Agreement on Access to Information, Public Participation and Access to Justice in Environmental Matters in Latin America and the Caribbean[42].*

***TABELA 3.1*** Unidades de Conservação estaduais e federais, Terras Indígenas e Quilombos no estado da Bahia.

***TABLE 3.1*** *State and Federal Conservation Units. Indigenous Lands and Quilombos in Bahia State.*

**UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE USO SUSTENTÁVEL** / *CONSERVATION UNIT OF SUSTAINABLE USE*

| | UNIDADE DE CONSERVAÇÃO / *CONSERVATION UNITS* | DIPLOMA LEGAL / *LEGAL DIPLOMA* |
|---|---|---|
| ESTADUAL / *STATE* | 1 APA do Lago do Sobradinho | D.E nº 9.957, de 30.03.06 |
| | 2 APA da Ponta da Baleia/Abrolhos | D.E nº 2.218, de 14.06.93 |
| | 3 APA de São Desidério | D.E nº 10.020, de 05.06.06 |
| | 4 APA da Serra do Barbado | D.E nº 2.183, de 07.06.93 |
| | 5 APA do Litoral Norte do Estado da Bahia | D.E nº 1.046, de 17.03.92 |
| | 6 APA de Manque Seco | D.E nº 605, de 06.11.91 |
| | 7 APA da Coroa Vermelha | D.E nº 2.184, de 07.06.93 |
| | 8 APA da Lagoa Itaparica | D.E nº 6.546, de 18.07.97 |
| | 9 APA da Serra do Ouro | D.E nº 10.194, de 27.12.06 |
| | 10 APA das Lagoas e Dunas do Abaeté | D.E nº 2.540, de 18.10.93 |
| | 11 APA da Gruta dos Brejões / Vereda do Romão Gramacho | D.E nº 32.487, de 13.11.85 |
| | 12 APA Serra Branca / Raso da Catarina | D.E nº 7.972, de 05.06.01 |
| | 13 ARIE Serra do Orobó | D.E nº 8.267, de 06.06.02 |
| | 14 APA do Rio Preto | D.E nº 10.019, de 05.06.06 |
| | 15 APA Bacia do Rio de Janeiro | D.E nº 7.971, de 05.06.01 |
| | 16 ARIE Nascentes do Rio de Contas | D.E nº 7.968, de 05.06.01 |
| | 17 APA de Joanes / Ipitanga | D.E nº 7.596, de 05.06.99 |
| | 18 APA da Baía de Todos os Santos | D.E nº 7.595, de 05.06.99 |
| | 19 APA das Dunas e Veredas do Baixo-Médio São Francisco | D.E nº 6.547, de 18.07.97 |
| | 20 PE Metropolitano de Pituaçu | D.E nº 18.679, de 01.11.2018 |
| | 21 APA de Caraíva / Trancoso | D.E nº 2.215, de 14.06.93 |
| | 22 APA Marimbus / Iraquara | D.E nº 2.216, de 14.06.93 |
| | 23 APA de Santo Antônio | D.E nº 3.413, de 31.08.94 |
| | 24 APA das Ilhas de Tinharé e Boipeba | D.E nº 1.240, de 05.06.92 |
| | 25 APA de Guaibim | D.E nº 1.164, de 11.05.1992 |
| | 26 APA do Pratigi | D.E nº 8.036, de 20.09.01 |
| | 27 APA Caminhos Ecológicos da Boa Esperança | D.E nº 8.552, de 05.06.03 |
| | 28 APA da Baía de Camamu | D.E nº 8.175, de 27.02.02 |
| | 29 APA da Costa de Itacaré / Serra Grande | D.E nº 8.649, de 22.09.03 |
| | 30 APA da Lagoa Encantada e do Rio Almada | D.E nº 8.650, de 22.09.03 |
| | 31 APA da Plataforma Continental do Litoral Norte | D.E nº 8.553, de 05.06.03 |
| | 32 APA Lagoas de Guarajuba | D.E nº 388, de 12.03.91 |
| | 33 APA Bacia do Cobre / São Bartolomeu | D.E nº 7.970, de 05.06.01 |
| | 34 APA do Rio Capivara | D.E nº 2.219, de 14.06.93 |
| | 35 APA do Lago de Pedra do Cavalo | D.E nº 6.548, de 18.07.97 |
| FEDERAL / *FEDERAL* | 36 RESEX de Canavieiras | Decreto S/N, de 05.06.2006 |
| | 37 FLONA Contendas do Sincorá | Decreto S/N, de 21.09.99 |
| | 38 RESEX Marinha da Baía de Iguape | Decreto S/N, de 11.08.2000; Lei 12.058, de 13.10.2009 |
| | 39 RESEX de Cassurubá | Decreto S/N, de 05.06.2009 |
| | 40 FLONA de Cristópolis | Decreto S/N, de 18.05.2001 |
| | 41 APA das Nascentes do Rio Vermelho | Decreto S/N, de 27.09.2001 |
| | 42 APA Serra de Tabatinga | Decretos nº 99.278, de 1990 e S/N, de 2002 |
| | 43 RESEX Marinha do Corumbau | Decreto S/N, de 21.09.2000 |
| | 44 APA da Ararinha Azul | Decreto nº 9.402, de 05.06.2018 |
| | 45 APA do Boqueirão da Onça | Decreto nº 9.337, de 05.04.2018 |
| | 46 APA do Aquipélado de Trindade e Martim Vaz | Decreto nº 9.312, de 19.03.2018 |

**UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL** / *CONSERVATION UNIT OF FULL PROTECTION*

| | | UNIDADE DE CONSERVAÇÃO / *CONSERVATION UNITS* | DIPLOMA LEGAL / *LEGAL DIPLOMA* |
|---|---|---|---|
| ESTADUAL / *STATE* | A | PE da Serra dos Montes Altos | D.E. nº 12.486, de 29.11.2010 |
| | B | MONA da Cachoeira do Ferro Doido | D.E. nº 7.412, de 17.08.98 |
| | C | MONA dos Canions do Subac | D.E. nº 10.018, de 05.06.2006 |
| | D | REVIS da Serra dos Montes Altos | D.E. nº 12.487, de 29.11.2010 |
| | E | PE das Sete Passagens | D.E. nº 7.808, de 25.05.2000 |
| | F | PE Morro do Chapéu | L.E. nº 12.924, de 13.12.2013 |
| | G | ESEC do Rio Preto | D.E. nº 9.441, de 06.06.2005 |
| | H | ESEC de Wenceslau Guimarães | D.E. nº 7.791, de 19.04.2000 |
| | I | PE da Serra do Conduru | D.E. nº 8.702, de 04.11.2003 |
| | J | PE Ponta da Tulha | D.E. nº 16.487, de 22.12.2015 |
| FEDERAL / *FEDERAL* | K | ESEC Raso da Catarina | Decreto nº 89.268 de 03.01.84; Portaria 373 de 11.10.2001 |
| | L | REVIS das Veredas do Oeste Baiano | Decreto S/N de 13.12.2002; Decreto S/N de 11.06.2010 |
| | M | PARNA Marinho dos Abrolhos | Decreto nº 88.218, de 06.04.83 |
| | N | PARNA Grande Sertão Veredas | Decreto nº 97.658, de 12.04.89; Decreto S/N, de 21.05.2004 |
| | O | MONA do Rio São Francisco | Decreto S/N, de 05.06.2009 |
| | P | REVIS Dp Rop Spa Frades | Decreto S/N de 21.12.2007 |
| | Q | PARNA do Pau Brasil | Decreto S/N, de 11.06.2010 |
| | R | PARNA da Serra das Lontras | Decreto S/N, de 11.06.2010 |
| | S | PARNA do Alto Cariri | Decreto S/N, de 11.06.2010 |
| | T | ESEC Serra Geral do Tocantins | Decreto S/N, de 27.09.2001 |
| | U | PARNA do Descobrimento | Decreto S/N, de 05.06.2012 |
| | V | REVIS de Una | Decreto S/N, de 21.12.2007 |
| | W | REBIO de Una | Decreto nº 85.463, de 10.12.80 |
| | X | PARNA das Nascentes do Rio Parnaíba | Decreto S/N, de 16.07.2002; Lei 13.090, de 12.01.2015 |
| | Y | PARNA e Histórico do Monte Pascoal | Decreto nº 242, de 29.11.61; Decreto nº 3.421, de 20.04.2000 |
| | Z | MONA das Ilhas de Trindade e Martim Vaz e do Monte Columbia | Decreto nº 9.312, de 19.03.2018 |
| | AA | PARNA do Boqueirão da Onça | Decreto nº 9.336, de 05.04.2018 |
| | AB | REVIS da Ararinha Azul | Decreto nº 9.402, de 05.06.2018 |
| | AC | PARNA da Chapada Diamantina | Decreto nº 91.655, de 17.09.85 |
| | AD | REVIS de Boa Nova | Decreto S/N, de 11.06.2010 |
| | AE | PARNA de Boa Nova | Decreto S/N, de 11.06.2010 |

| | TERRA INDÍGENA / *INDIGENOUS LANDS* | MUNICÍPIO / *MUNICIPALITIES* |
|---|---|---|
| TI01 | Tumbalalá | Abaré, Curaçá |
| TI02 | Tupinambá de Belmonte | Belmonte |
| TI03 | Fazenda Bahiana | Camamu |
| TI04 | Massacará | Euclides da Cunha |
| TI05 | Quixaba | Glória |
| TI06 | Kantaruré | |
| TI07 | Brejo do Burgo | Glória, Paulo Afonso, Rodelas |
| TI08 | Pankararé | |
| TI09 | Ibotirama | Ibotirama |
| TI10 | Fazenda Remanso | Muquém de São Francisco |
| TI11 | Fazenda Sempre Verde | |
| TI12 | Barra | |
| TI13 | Caramuru/Paraguassu | Pau Brasil, Itaju do Colônia, Camacan |
| TI14 | Aldeia Velha | Porto Seguro |
| TI15 | Barra Velha | |
| TI16 | Barra Velha do Monte Pascoal | |
| TI17 | Imbiriba | |
| TI18 | Águas Belas | Prado |
| TI19 | Comexatiba | |
| TI20 | Fazenda Sítio | Quijingue |
| TI21 | Kiriri | Ribeira do Pombal, Quijingue, Tucano, Banzaê |
| TI22 | Mata Medonha | Santa Cruz Cabrália |
| TI23 | Coroa Vermelha | Santa Cruz Cabrália, Porto Seguro |
| TI24 | Fazenda Jenipapeiro | Santa Rita de Cássia |
| TI25 | Vargem Alegre | Serra do Ramalho |
| TI26 | Tupinambá de Olivença | Una, Ilhéus, Buerarema |

**SIGLAS UTILIZADAS** / *ACRONYMS USED*

| | |
|---|---|
| APA | Área de Proteção Ambiental / *Environment Protected Area* |
| ARIE | Área de Relevante Interesse Ecológico / *Area of Relevant Ecological Interest* |
| ESEC | Estação Ecológica / *Ecological Station* |
| FLONA | Floresta Nacional / *National Forest* |
| MONA | Monumento Natural / *Natural Monument* |
| PAE | Projeto de Assentamento Agroextrativista / *Agro-extractivist Settlement Project* |
| PARNA | Parque Nacional / *National Park* |
| REBIO | Reserva Biológica / *Biological Reserve* |
| RESEX | Reserva Extrativista / *Extractivist Reserve* |
| REVIS | Refúgio da Vida Silvestre / *Wildlife Refuge* |
| RPPN | Reserva Particular do Patrimônio Natural / *Private Reserve of Natural Heritage* |
| PU | Parque Urbano / *Urban Park* |
| PE | Parque Estadual / *State Park* |

| | QUILOMBOS / *QUILOMBOS* | MUNICÍPIO / *MUNICIPALITIES* |
|---|---|---|
| Q01 | Curral de Pedra | Abaré |
| Q02 | Jibóia | Antônio Gonçalves e Filadélfia |
| Q03 | Torrinha | Barra |
| Q04 | Lagoa das Piranhas | Bom Jesus da Lapa |
| Q05 | Nova Batalhinha | |
| Q06 | Lagoa do Peixe | |
| Q07 | Mangal e Barro Velho | |
| Q08 | Araçá / Cariaca / Pato / Pedras / Retiro | |
| Q09 | São Francisco do Paraguaçu | Cachoeira |
| Q10 | Caônge / Dendê / Engenho da Praia / Engenho da Ponte e Outras | |
| Q11 | Jetimana e Boa Vista | Camamu |
| Q12 | Porto do Campo | |
| Q13 | Barra do Parateca | Carinhanha |
| Q14 | Fazenda Porteiras | Entre Rios |
| Q15 | Fojo | Itacaré |
| Q16 | Motas | Itanhém |
| Q17 | Lagoa Santa | Ituberá e Nilo Peçanha |
| Q18 | Iúna | Lençóis |
| Q19 | Mata do Sapé | Macaúbas |
| Q20 | Sambaíba | Macaúbas e Tanque Novo |
| Q21 | Tomé Nunes | Malhada |
| Q22 | Parateca e Pau Darco | |
| Q23 | Salamina Putumuju | Maragogipe |
| Q24 | Quizanga, Guerém, Baixão do Guaí, Tabatinga e Outros | Maragogipe e Nazaré |
| Q25 | Fazenda Jatobá | Muquém do São Francisco |
| Q26 | Barra e Bananal | Rio de Contas |
| Q27 | Ilha de Maré | Salvador |
| Q28 | Olhos D'água do Basílio | Seabra |
| Q29 | Capão das Gamelas | |
| Q30 | Agreste | |
| Q31 | Morro Redondo | Seabra e Ibitiara |
| Q32 | Tijuaçu | Senhor do Bomfim e Filadélfia |
| Q33 | Dandá | Simões Filho |
| Q34 | Pitanga de Palmares | |
| Q35 | Rio dos Macacos | Simões Filho / Salvador |
| Q36 | Velame | Vitória da Conquista |
| Q37 | Barreiro do Rio Pardo | |
| Q38 | Riacho da Sacutiaba e Sacutiaba | Wanderley |
| Q39 | Vicentes | Xique-Xique |

# H2V Atlas BaHia

## Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Assentamentos e Quilombos

*CONSERVATION UNITS, INDIGENOUS LANDS, SETTLEMENTS AND QUILOMBOS*

MAPA/MAP 3.1

- UCs[a] Federais de Proteção Integral
  *Federal Conservation Units of Full Protection*
- UCs[a] Federais de Uso Sustentável
  *Federal Conservation Units of Sustainable Use*
- UCs[a] Estaduais de Proteção Integral
  *State Conservation Units of Full Protection*
- UCs[a] Estaduais de Uso Sustentável
  *State Conservation Units of Sustainable Use*
- UCs[a] Municipais de Proteção Integral
  *Municipality Conservation Units of Full Protection*
- Divisas estaduais
  *State borders*
- Corpos d'água
  *Water bodies*
- UCs[a] Municipais de uso sustentável
  *Municipality Conservation Units of Sustainable Use*
- UCs[a] não categorizadas na SNUC
  *Conservation Units not classified by SNUC (National System of Nature Conservation Units)*
- Terras indígenas
  *Indigenous lands*
- Áreas quilombolas
  *Quilombola areas*
- Assentamentos rurais
  *Farm settlements*
- Rede de drenagem
  *Draining line*
- Sedes municipais
  *City headquarters*

[a] UNIDADES DE CONSERVAÇÃO / *CONSERVATION UNITS.*

FONTE / *SOURCE*: BASE CARTOGRÁFICA: ANA[43], ESRI[44], FUNAI[45], GEOBAHIA[46], IBGE[47]–[49], ICMBIO[50], INCRA[51], SEI[52].

ESCALA 1:3 300 000
Projeção Albers Cônica
Sistema de Referência Cartográfica
SIRGAS 2000
0 25 50 75 100 km

Sistema FIEB | SENAI CIMATEC
PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO
BAHIA
SECRETARIA DO MEIO-AMBIENTE
SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DO PLANEJAMENTO
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

H2V Atlas Bahia

# O MERCADO DE H2V

*THE GH2 MARKET*

## 4.1 DEMANDAS ATUAIS

O hidrogênio é utilizado em vários setores industriais, com grande aplicação como matéria-prima e insumo energético[1]. Atualmente, os principais processos que demandam hidrogênio são a síntese da amônia e refino em petroquímicas. A produção mundial de $H_2$ em 2021, cerca de 94 milhões de toneladas, era quase inteiramente baseada em combustíveis fósseis, com apenas cerca de 4% sendo gerada por eletrólise[2]. A Figura 4.1 apresenta o panorama do mercado atual do hidrogênio no mundo.

No Brasil, o panorama atual é muito semelhante ao que ocorre no mundo. As principais atividades demandantes de hidrogênio são os processos industriais e a síntese de produtos. Entre os anos de 2015 e 2018 a Petrobras respondia por 95% da produção total de hidrogênio no país, com o uso direcionado para processos de refino e fabricação de fertilizantes[4].

**FIGURA 4.1** Demanda global de hidrogênio e fontes de produção.

**FIGURE 4.1** *Global hydrogen demand and production sources.*




FONTE / *SOURCE*: IRENA[3] (ADAPTADO / *ADAPTED*).

## 4.1 CURRENT DEMAND

*Hydrogen is used in several industrial sectors, with great application as raw material and energy input[1]. Today, the main processes that demand hydrogen are the synthesis of ammonia and refining in petrochemical plants. Worldwide production of H2 in 2021, around 94 million tons, was almost entirely based on fossil fuels, with only about 4% being generated by electrolysis[2]. Figure 4.1 shows the overview of the current hydrogen market in the world.*

*In Brazil, the current scenario is very similar to what occurs in the world. The main hydrogen demanding activities are industrial processes and product synthesis. Between the years 2015 and 2018 Petrobras accounted for 95% of the total hydrogen production in the country, with the use directed to refining processes and fertilizer production[4].*

### 4.1.1 INDUSTRIAL PROCESSES

*The hydrogen demand for use in industrial processes in Bahia has two main applications and are concentrated in the activities of two main companies:*

*I. Oil refining - Acelen;*

*II. Raw material for ammonia production - Unigel.*

*The production capacity of "gray" hydrogen for refining activities in the State of Bahia in 2021 was equivalent to 1,360,000 $Nm^3.day^{-1}$ of hydrogen[5]. Assuming an idleness of 33% of the plant[5], multiplied by the above mentioned production capacity, it is estimated a production of 29,893 $tons.year^{-1}$ of hydrogen to supply the refining demands.*

*According to data from Unigel's 2021 sustainability report, the Camaçari/BA unit has the capacity to produce about 475,000 $ton.year^{-1}$ of ammonia, using gray hydrogen as raw material[6]. From this value and applying the stoichiometric balance, a demand of approximately 83,822 $ton.year^{-1}$ of hydrogen was calculated for the production of ammonia in the State of Bahia. Assuming an idleness of approximately 39% in ammonia production[7], it is estimated a production of approximately 51,131 $tons.year^{-1}$ of hydrogen for use as a raw material in ammonia production.*

*Unigel, a pioneering company in the production of Green Hydrogen in Brazil, plans to inaugurate its green ammonia production plant in 2024, marking the first industrial-scale project to produce GH2 in Bahia State (Figure 4.2). The project consists of three stages. In the first stage, the plant, which will have an electrolysis plant supplied by Thyssenkrupp Nucera, will have the capacity to produce 10,000 $tons/year^{-1}$ of $H_2$ and 60,000 $tons/year^{-1}$ of $NH_3$. In the second stage, production will increase to 40,000 $tons/year^{-1}$ of $H_2$ and 240,000 $tons/year^{-1}$ of $NH_3$. The goal for the final stage, scheduled for 2027, is to achieve production of 100,000 $tons/year^{-1}$ of $H_2$ and 600,000 $tons/year^{-1}$ of $NH_3$[8].*

## 4.1.1 PROCESSOS INDUSTRIAIS

A demanda por hidrogênio para uso em processos industriais na Bahia possui duas principais aplicações e estão concentradas nas atividades de duas principais empresas:

I. Refino de petróleo – Acelen;

II. Matéria-prima na produção de amônia – Unigel.

A capacidade de produção de hidrogênio "cinza" para refino no estado da Bahia no ano de 2021 foi equivalente a 1.360.000 $Nm^3.dia^{-1}$ de hidrogênio[5]. Assumindo uma ociosidade de 33% da planta[5], multiplicada pela capacidade de produção supracitada, estima-se uma produção de 29.893 $ton.ano^{-1}$ de hidrogênio para atendimento às demandas de refino.

Segundo dados do relatório de sustentabilidade 2021 da Unigel, a unidade de Camaçari/BA tem capacidade de produzir cerca de 475 mil $ton.ano^{-1}$ de amônia, utilizando hidrogênio cinza como matéria-prima[6]. A partir desse valor e aplicando o balanço estequiométrico, foi calculada uma demanda de aproximadamente 83.822 $ton.ano^{-1}$ de hidrogênio para a produção de amônia no estado da Bahia. Assumindo como premissa uma ociosidade de aproximadamente 39% na produção de amônia[7], estima-se uma produção de cerca de 51.131 $ton.ano^{-1}$ de hidrogênio para uso como matéria-prima na produção de amônia.

A Unigel, empresa pioneira na produção de Hidrogênio Verde no Brasil, tem planos de inaugurar sua fábrica de produção de amônia verde em 2024, marcando o primeiro projeto em escala industrial para produção de H2V no estado da Bahia (Figura 4.2). O projeto é composto por três etapas, sendo que na primeira delas a fábrica, que contará com uma planta de eletrólise fornecida pela thyssenkrupp nucera, terá capacidade para produzir 10 mil $ton.ano^{-1}$ de $H_2$ e 60 mil $ton.ano^{-1}$ de $NH_3$. Já na segunda etapa, a produção aumentará para 40 mil $ton.ano^{-1}$ de $H_2$ e 240 mil $ton.ano^{-1}$ de $NH_3$. A meta para a última etapa, prevista para 2027, é alcançar a produção de 100 mil $ton.ano^{-1}$ de $H_2$ e 600 mil $ton.ano^{-1}$ de $NH_3$[8].

**FIGURA 4.2** Planta de eletrólise da Unigel na Bahia, onde será desenvolvido o primeiro projeto em escala industrial para produção de H2V no estado. Com eletrolisadores fornecidos pela Thyssenkrupp Nucera, a empresa projeta alcançar a produção de 100 mil $ton.ano^{-1}$ de Hidrogênio Verde e 600 mil $ton.ano^{-1}$ de $NH_3$ (amônia) até 2027.

***FIGURE 4.2*** *Unigel's electrolysis plant in Bahia, where the first industrial scale project for GH2 production in the state will be implemented. With electrolysers supplied by Thyssenkrupp Nucera, the company expects to achieve production of 100,000 $ton.year^{-1}$ of Green Hydrogen and 600,000 $ton.year^{-1}$ of $NH_3$ (ammonia) by 2027.*



FONTE / *SOURCE*: UNIGEL[8].

## 4.1.2 SÍNTESE DE PRODUTOS PARA A INDÚSTRIA

Atualmente, o hidrogênio é utilizado em diversos processos de síntese, incluindo a redução do ferro gusa na indústria siderúrgica, hidrogenação de gorduras na indústria de alimentos, refrigeração e criogenia em usinas, processo de inertização do banho de estanho na fabricação de vidros e no setor de transporte, especialmente em caminhões pesados e ônibus[4].

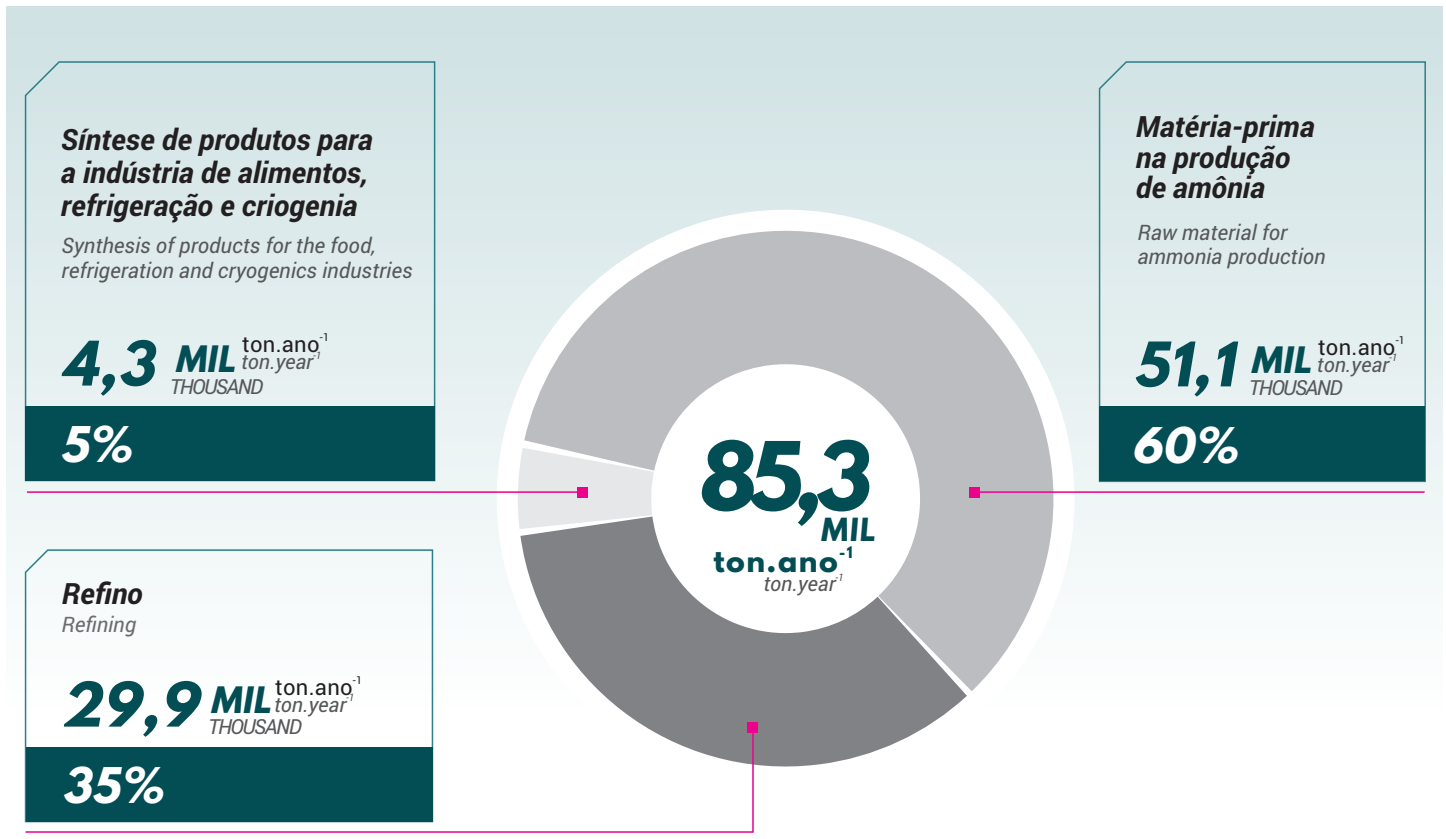
Em 2018, a Petrobras era responsável por 95% da produção de hidrogênio no Brasil, com a maior parte destinada à indústria de refino e fertilizantes. Os 5% restantes eram utilizados em diversas finalidades, como na síntese de produtos para a indústria de alimentos, refrigeração e criogenia, entre outras[4]. Adotando um cenário hipotético em que a demanda por hidrogênio no estado da Bahia equivale à distribuição da demanda nacional, é estimado que a demanda atual no estado para as atividades destinadas aos 5% sejam de aproximadamente 4.256 ton.ano$^{-1}$ de hidrogênio.

## 4.1.3 DEMANDA DE PRODUÇÃO ESTIMADA

Com base nos valores apresentados anteriormente, estima-se que a Bahia produza cerca de 85.280 toneladas de hidrogênio "cinza" por ano para atendimento às demandas atuais. O Gráfico 4.1 apresenta a produção estimada de hidrogênio "cinza" do estado da Bahia para atendimento às demandas atuais, indicando a distribuição do volume produzido pelos respectivos setores industriais.

**GRÁFICO 4.1** Bahia: Produção atual de hidrogênio "cinza".

**CHART 4.1** *Bahia: Current production for Gray Hydrogen.*




OS DADOS APRESENTADOS REFLETEM UMA ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO ATUAL DE HIDROGÊNIO "CINZA" NA BAHIA COM BASE EM INFORMAÇÕES DISPONIBILIZADAS PELA PETROBRAS[7], UNIGEL[8] E OUTRAS FONTES [4], [5] / *THE DATA PRESENTED REFLECTS AN ESTIMATE OF THE CURRENT PRODUCTION OF "GRAY" HYDROGEN IN BAHIA BASED ON INFORMATION MADE AVAILABLE BY PETROBRAS[7], UNIGEL[8] AND OTHER SOURCES [4], [5].*

### 4.1.2 SYNTHESIS OF PRODUCTS FOR INDUSTRY

*Hydrogen is currently used in a variety of synthesis processes, including pig iron reduction in the steel industry, hydrogenation of fats in the food industry, refrigeration and cryogenics in power plants, tin bath inerting process in glass manufacturing, and in the transportation sector, especially in heavy trucks and buses.[4].*

*In 2018, Petrobras accounted for 95% of hydrogen production in Brazil, with most of it going to the refining and fertilizer industries. The remaining 5% was used for various purposes, such as the synthesis of products for the food industry, refrigeration, and cryogenics, among others[4]. Adopting a hypothetical scenario in which the demand for hydrogen in Bahia is equivalent to the national demand distribution, it is estimated that the present demand in the state for the activities destined to the 5% is approximately 4,256 ton.year$^{-1}$ of hydrogen.*

### 4.1.3 ESTIMATED PRODUCTION DEMAND

*Based on the previously presented values it is estimated that Bahia produces about 85,280 tons of "gray" hydrogen per year to supply the existing demands. Chart 4.1 shows the estimated production of "gray" hydrogen in Bahia State to supply the present demands, indicating the distribution of the produced volume by the corresponding industrial sectors.*

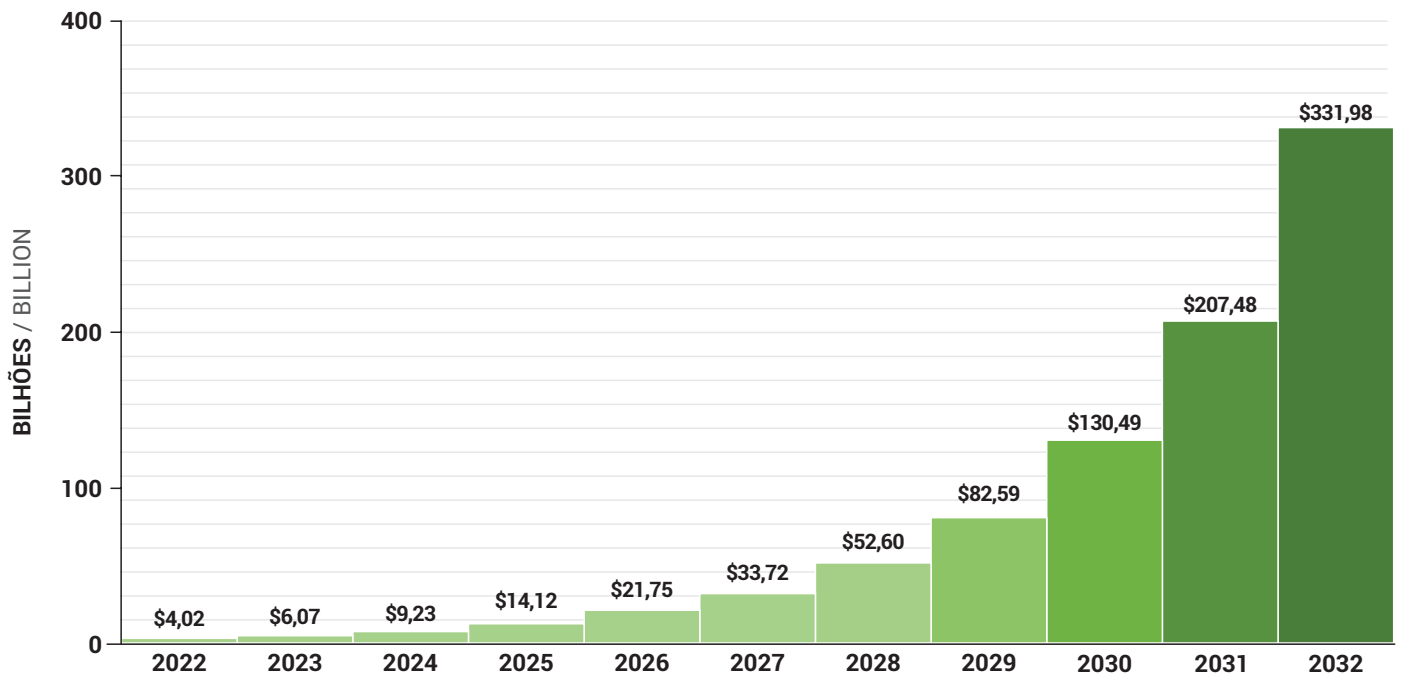
## *4.2 NOVOS MERCADOS*

No ano de 2022, o mercado de H2V foi avaliado em US$ 4,02 bilhões. As projeções indicam um crescimento exponencial desse mercado, chegando a ser avaliado em até US$ 331,98 bilhões em 2032, o que representa um aumento de cerca de 83 vezes[9] (Gráfico 4.2).

O hidrogênio como matéria-prima possui inúmeras aplicações com grande potencial para descarbonização de diferentes setores. Neste sentido, serão apresentados a seguir, quatro grandes segmentos potencialmente demandantes de H2V no estado da Bahia.

*GRÁFICO 4.2* Mundo: Tamanho do Mercado de Hidrogênio Verde em bilhões de dólares.

*CHART 4.2* *Worldwide: Green Hydrogen market size (US$ billion).*




FONTE / *SOURCE:* PRECEDENCE RESEARCH[9] (ADAPTADO / *ADAPTED*).

OS DADOS APRESENTADOS REFLETEM A PROJEÇÃO DO MERCADO DE HIDROGÊNIO VERDE ATÉ 2032 EM BILHÕES DE DÓLARES / *THE DATA PRESENTED REFLECTS THE PROJECTION OF THE GREEN HYDROGEN MARKET THROUGH 2032 IN BILLIONS OF DOLLARS.*

### *4.2.1 USO ENERGÉTICO*

Transportar uma mistura de H2V e gás natural por meio dos gasodutos existentes pode ser uma estratégia relevante para impulsionar o mercado de Hidrogênio Verde no estado da Bahia. Estudos indicam que a inserção de 10% de volume de hidrogênio nessa mistura transportada é um cenário viável para pressões acima de 16 bar[10]. O potencial de transmissão energética nessas tubulações é dez vezes maior do que o de uma linha de transmissão de energia elétrica, e um oitavo do seu custo[11].

O estado da Bahia possui um gasoduto que percorre todo seu território na direção sul-norte, quase sempre paralelo à linha da costa. De acordo com os relatórios da TAG[12], empresa proprietária e operadora desse ativo, cerca de 4,57 bilhões de $m^3.ano^{-1}$ de gás natural, em média, foram injetados no sistema entre 2017 e 2022. Considerando um cenário hipotético em que 10% desse valor seja substituído por volume de hidrogênio, estima-se que aproximadamente 1,08 milhão de toneladas de $H_2$ possam ser adicionadas anualmente à mistura de gás natural transportada pelo gasoduto existente.

Outra possibilidade interessante é utilizar o H2V no setor industrial para gerar calor em processos que exigem temperaturas médias ou altas. Essa alternativa é especialmente viável para a indústria de papel e celulose, cimento e aço[13].

## *4.2 NEW MARKETS*

*In the year 2022, the GH2 market was evaluated at $4.02 billion dollars. Projections indicate an exponential growth of this market to be valued up to $331.98 billion in 2032, which represents an increase of about 83 times[9] (Chart 4.2).*

*As a raw material, hydrogen has numerous applications with great potential for decarbonization of different sectors. In this sense, four large segments potentially demanding GH2 in Bahia State will be presented below.*

### *4.2.1 ENERGY USE*

*Transporting a mixture of GH2 and natural gas through existing pipelines can be a relevant strategy to leverage the Green Hydrogen market in Bahia State. Studies indicate that the insertion of 10% volume of hydrogen in this transported mixture is a viable scenario for pressures above 16 bar[10]. The potential for energy transmission in these pipelines is ten times higher than that of an electric power transmission line, and at one eighth of the cost[11].*

*Bahia State has a gas pipeline that runs all over its territory in a south-north direction, almost always parallel to the coastline. According to reports by TAG[12], the company that owns and operates this asset, about 4.57 billion $m^3.year^{-1}$ of natural gas on average were injected into the system between 2017 and 2022. Considering a hypothetical scenario in which 10% of this amount is replaced by hydrogen volume, it is estimated that approximately 1.08 million tons of $H_2$ can be added annually to the natural gas mix transported by the existing pipeline.*

*Another interesting possibility is to use GH2 in the industrial sector to generate heat in processes that require medium or high temperatures. This alternative is especially viable for the pulp and paper, cement, and steel industries[13].*

## 4.2.2 MINERAÇÃO E SIDERURGIA

A mineração é responsável por 5% a 7% das emissões de $CO_2$ no mundo[14]. O Brasil possui participação significativa nos mercados globais de aço (2%) e minério de ferro (17%)[15]. Buscando se adequar às novas dinâmicas mundiais, esse setor possui grandes desafios no que diz respeito à redução de emissão de carbono. Nesse contexto, o Hidrogênio Verde pode atuar como um vetor estratégico no processo de descarbonização da indústria de mineração e siderurgia, sendo utilizado diretamente como matéria-prima na produção de aços verdes[14].

Dentre as possibilidades de aplicação de H2V nesse segmento, destaca-se o processo de redução direta do aço (do inglês, *Direct Reduced Iron* - DRI), que utiliza o $H_2$ para a produção da liga metálica a partir do minério de ferro. O processo de DRI é o quarto maior demandante de hidrogênio no Brasil, atrás apenas do refino, produção de fertilizantes e metanol[14].

O setor de mineração na Bahia tem grande importância para a economia do estado, registrando participação de 3% do PIB no ano de 2021. Isso inclui atividades de extração de minério de ferro, cobre, ouro, níquel, urânio, vanádio, cromo e outros minerais[16]. A Bahia é um dos maiores produtores de minério de ferro do país, tendo comercializado no ano de 2021 aproximadamente 1,18 milhão de toneladas (minério beneficiado)[17]. Além disso, com a conclusão das obras da Ferrovia FIOL - Trecho 1 e do Porto Sul, a empresa BAMIN projeta para o ano de 2026 uma produção estimada em 26 milhões de toneladas de minério de ferro[18] em território baiano (ver Figura 4.3). Esse cenário ilustra as múltiplas possibilidades de inserção do H2V como vetor de descarbonização na mineração baiana, setor este que tem crescido em taxas constantes e significativas ano após ano.

## 4.2.3 COMBUSTÍVEL PARA TRANSPORTE

O setor de transportes projeta o uso do hidrogênio em diversos modais como uma alternativa no futuro. A ideia é substituir o diesel e diversos outros combustíveis fósseis, amplamente utilizados atualmente, pelo Hidrogênio Verde. Isso torna-se possível mediante a substituição gradual dos motores a combustão por células de combustível alimentadas por hidrogênio.

No Brasil, o setor de transportes emitiu 48% do dióxido de carbono em 2019, com 23% sendo atribuídos ao transporte de passageiros e 25% ao transporte de cargas[19]. Para reduzir essas emissões, uma alternativa promissora é o desenvolvimento/aperfeiçoamento de ônibus movidos a células de combustível de hidrogênio para o transporte público urbano, já em uso nas principais capitais do país[20], [21]. Na Bahia, o consumo de diesel representa em média 52% das emissões do setor, com a gasolina contribuindo com cerca de 25%, o que destaca o forte viés rodoviário do estado[22].

Com o amadurecimento de diversas tecnologias, incluindo as pilhas/células a combustível de hidrogênio, é provável que o Hidrogênio Verde seja, cada vez mais, utilizado como combustível em vários meios de transporte, proporcionando benefícios diretos na redução do consumo de diesel[14]. No estado da Bahia, por exemplo, considerando um horizonte de curto a médio prazo, o H2V tem largo potencial de aplicação no transporte público urbano e no segmento de caminhões médios e pesados (setores de carga e mineração, por exemplo). Destaca-se ainda a possibilidade futura de utilização do H2V nos setores naval e ferroviário, que contam com projeções significativas de movimentação de cargas para os próximos anos[23], [24].

***FIGURA 4.3*** Mina Pedra de Ferro, localizada no município de Caetité, Bahia. Explorada pela BAMIN, essa jazida fornece um minério de ferro de alto teor e baixo índice de contaminantes.

***FIGURE 4.3*** *Pedra de Ferro mine, located in the municipality of Caetité, Bahia. Operated by BAMIN, this deposit provides high-grade iron ore with low levels of contaminants.*

FOTO / *PHOTO*: ZIG KOCH

### 4.2.2 MINING AND STEEL INDUSTRY

*Mining is responsible for 5% to 7% of $CO_2$ emissions worldwide[14]. Brazil has significant participation in the global markets of steel (2%) and iron ore (17%)[15]. Seeking to adapt to the new global dynamics, this sector has great challenges regarding the reduction of carbon emissions. In this context, Green Hydrogen can act as a strategic vector in the decarbonization process of the mining and steel industry, being used directly as raw material in the production of green steels[14].*

*Among the possibilities for GH2 application in this segment, the Direct Reduced Iron (DRI) process stands out, using $H_2$ to produce alloy from iron ore. The DRI process is the fourth largest hydrogen consumer in Brazil, only behind refining, fertilizer production and methanol[14].*

*The mining sector in Bahia has great importance for the state's economy, with 3% share of the GDP in 2021. This includes activities of iron ore, copper, gold, nickel, uranium, vanadium, chromium and other minerals extraction[16]. Bahia is one of the largest producers of iron ore in the country, accounting for approximately 1.18 million tons (beneficiated ore) in the year 2021[17]. Moreover, with the completion of the works of the Railroad FIOL - Section 1 and the South Port, the company BAMIN projects for the year 2026 an estimated production of 26 million tons of iron ore[18] in Bahia (see Figure 4.3). This scenario illustrates the multiple possibilities of GH2 insertion as a vector of decarbonization of Bahia's mining industry, which has been growing at constant and significant rates year after year.*

### 4.2.3 FUEL FOR TRANSPORT SECTOR

*The transport sector projects the use of Hydrogen in different modes of transport as an alternative in the future. The idea is to replace diesel and various other fossil fuels, widely used today, with Green Hydrogen. This is made possible by gradually replacing combustion engines with hydrogen-powered fuel cells.*

*In Brazil, the transportation sector emitted 48% of carbon dioxide in 2019, 23% of which is attributed to passenger transport and 25% to freight transport[19]. To reduce these emissions, a promising alternative is the development/enhancement of hydrogen fuel cell powered buses for public urban transport, already in use in the country's major capitals[20], [21]. In Bahia, diesel consumption represents on average 52% of the sector's emissions, with gasoline contributing about 25%, which highlights the state's heavy road propensity[22].*

*With the maturation of several technologies, including hydrogen fuel cells, it is likely that Green Hydrogen will be increasingly used as fuel in various means of transportation, providing direct benefits in reducing diesel consumption[14]. In Bahia, for example, considering a short to medium term horizon, GH2 has a large potential for application in the public urban transport and in the medium and heavy duty truck segment (cargo and mining sectors, for example). We also highlight the future possibility of using GH2 in the naval and railway sectors, which have significant projections of cargo movement for the coming years[23], [24].*

### 4.2.4 ENERGY STORAGE

*Green hydrogen is an advantageous and safe option for storing surplus amounts of electric energy generated by wind and solar photovoltaic sources. This can be accomplished by directing the surplus energy generated into the electrolysis process, which results in the production and storage of hydrogen gas. In addition to avoiding the waste of clean energy, this conversion is a way to maintain a regular supply of energy, which production capacity oscillates according to the seasonality/intermittency of wind and solar irradiation[11].*

*Storing hydrogen in tanks has its challenges due to its high volatility and flammability. However, there are safer alternatives for keeping it stored, such as liquefaction, dilution in natural gas, or incorporation into ammonia. When incorporated into ammonia, the hydrogen can be extracted at the final destination, which represents an interesting option[11].*

*Besides conventional hydrogen storage options, another interesting possibility is the use of mature oil or gas fields as reservoirs. In Bahia State, for example, there are onshore geological formations that offer favorable characteristics for hydrogen storage. Although the process of production, storage and use of energy from GH2 still lacks efficiency, in certain situations, hydrogen storage can be an economically viable option[1].*

### 4.2.5 TECHNOLOGY MATURITY

*Although some applications of hydrogen already exist and are used in the conventional "gray" Hydrogen industry, advances in technology development are needed to enable the entry of Green Hydrogen into markets that prioritize more sustainable technology routes. Therefore, several researches are being conducted with the aim of developing and encouraging the use of GH2 in new markets. Among the most promising initiatives are studies to raise the percentages of hydrogen used in turbines[13] and expand its application in industrial processes[1]. These technological advances are fundamental to make Green Hydrogen an economically viable and environmentally favorable option in several areas.*

*Table 4.1 lists some of the GH2 applications and their respective stages of technological maturity.*

### 4.2.4 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

O Hidrogênio Verde é uma opção vantajosa e segura para armazenar quantidades excedentes de energia elétrica geradas a partir das fontes eólica e solar fotovoltaica. Isso pode ser realizado direcionando o excedente de energia gerada para o processo de eletrólise, o que resulta na produção e armazenamento de gás hidrogênio. Além de evitar o desperdício de energias limpas, essa conversão é uma maneira de manter a regularidade no fornecimento de energia, cuja capacidade produtiva oscila de acordo com a sazonalidade/intermitência dos ventos e irradiação solar[11].

O armazenamento do hidrogênio em tanques apresenta desafios devido à sua alta volatilidade e inflamabilidade. No entanto, existem alternativas mais seguras para mantê-lo armazenado, tais como liquefação, diluição em gás natural ou incorporação à amônia. Quando incorporado à amônia, o hidrogênio pode ser extraído no destino final, o que representa uma opção interessante[11].

Além das opções convencionais de armazenamento de hidrogênio, outra possibilidade interessante é o uso de campos maduros de exploração de petróleo ou gás como reservatórios. No estado da Bahia, por exemplo, existem formações geológicas *onshore* que apresentam características favoráveis para o armazenamento de hidrogênio. Embora o processo de produção, armazenamento e utilização de energia a partir do H2V ainda tenha baixa eficiência, em certas situações o armazenamento de hidrogênio pode ser uma opção economicamente viável[1].

### 4.2.5 MATURIDADE TECNOLÓGICA

Embora algumas aplicações do hidrogênio já existam e sejam utilizadas na indústria convencional de hidrogênio "cinza", é necessário avançar em desenvolvimento tecnológico para viabilizar a entrada do Hidrogênio Verde em mercados que priorizam rotas tecnológicas mais sustentáveis. Por isso, várias pesquisas estão sendo conduzidas com o objetivo de desenvolver e incentivar o uso de H2V em novos mercados. Entre as iniciativas mais promissoras estão os estudos para elevar os percentuais de hidrogênio utilizados em turbinas[13] e ampliar sua aplicação em processos industriais[1]. Esses avanços tecnológicos são fundamentais para tornar o Hidrogênio Verde uma opção economicamente viável e ambientalmente favorável em diversas áreas.

A Tabela 4.1 relaciona algumas das aplicações do H2V e seus respectivos estágios de maturidade tecnológica.

**TABELA 4.1** Maturidade tecnológica de aplicações diversas para o Hidrogênio Verde em novos mercados.

*TABLE 4.1 Technological maturity of various applications for Green Hydrogen in new markets.*

| APLICAÇÃO *APPLICATION* | FINALIDADE *USE* | FORMA *FORM* | SETOR *SECTOR* | MATURIDADE TECNOLÓGICA *TECHNOLOGY MATURITY* |
|---|---|---|---|---|
| Redução direta de minério de ferro *Direct reduction of iron ore* | Insumo *Input* | Gás *Gas* | Indústria siderúrgica *Steel Industry* | Ainda sem desenvolvimento *Under development* |
| Armazenamento de energia *Energy storage* | Energético *Energy* | Gás *Gas* | Rede elétrica *Electric power* | Pré-piloto[a] *Pre-pilot[a]* |
| Propulsão de veículos *Vehicle propulsion* | Energético *Energy* | Combustíveis sintéticos *Synthetic fuels* | Transporte *Transport* | Pré-piloto[a] *Pre-pilot[a]* |
| Geração de eletricidade *Electricity generation* | Energético *Energy* | Células a combustível *Fuel cells* | Transporte *Transport* | Pré-comercial[b] *Pre-commercial[b]* |

FONTE / *SOURCE*: SANTOS & OHARA (2021)[25] (ADAPTADO / *ADAPTED*).

[a] TECNOLOGIA AINDA EM ESTÁGIO INICIAL DE DESENVOLVIMENTO / *TECHNOLOGY IS STILL IN THE INITIAL STAGES OF DEVELOPMENT.* [b] TECNOLOGIA EM ESCALA DE DEMONSTRAÇÃO OU PILOTO, AINDA NÃO COMPETITIVA COMERCIALMENTE / *TECHNOLOGY AT DEMONSTRATION OR PILOT SCALE, NOT YET COMMERCIALLY COMPETITIVE.*

No que se refere à proposição de políticas públicas para descarbonização, há indicações de que os esforços devem ser concentrados em soluções centralizadas e com alto grau de maturidade tecnológica[26], [27]. Em comparação com as soluções baseadas em eletricidade, o Hidrogênio Verde apresenta um cenário mais favorável. Isso é particularmente evidente nos setores químico e de refino, que já possuem uma alta maturidade tecnológica na utilização do hidrogênio (Figura 4.4). Além disso, espera-se que ocorra uma evolução tecnológica nos setores de transporte e indústria, especialmente naqueles que exigem uma alta carga térmica. Portanto, a implementação de políticas públicas que incentivem o uso do Hidrogênio Verde nesses setores pode ser uma estratégia eficaz para impulsionar a transição energética e reduzir as emissões de carbono no estado da Bahia.

*Regarding the proposition of public policies for decarbonization, there are indications that efforts should be focused on centralized solutions with a high degree of technological maturity[26], [27]. Compared to electricity-based solutions, Green Hydrogen presents a more favorable scenario. This is particularly evident in the chemical and refining sectors, which already have a high technological maturity in the use of hydrogen (Figure 4.4). In addition, technological evolution is expected to occur in the transportation and industrial sectors, especially in those that require a high thermic load. Therefore, the implementation of public policies that encourage the use of Green Hydrogen in these sectors can be an effective strategy to encourage the energy transition and reduce carbon emissions in Bahia State.*

***FIGURA 4.4*** Comparação de prioridades das políticas públicas considerando a descarbonização via eletrificação e Hidrogênio Verde.

***FIGURE 4.4*** *Comparison of public policy priorities considering decarbonization via electrification and Green Hydrogen.*




FONTE / *SOURCE:* IRENA[27] (ADAPTADO / *ADAPTED*).

H2V Atlas Bahia

# METODOLOGIA

***METHODOLOGY***

O mapeamento do potencial de produção de Hidrogênio Verde da Bahia foi realizado pelo SENAI CIMATEC a partir dos potenciais eólico, solar fotovoltaico e hídrico do estado. O método de produção considerado foi a eletrólise da água, a partir da tecnologia PEM (do inglês, *Proton Exchange Membrane*), com suprimento de energia elétrica de fontes renováveis. As áreas de restrição técnica e ambiental foram excluídas dos cálculos de potencial eólico e solar. Além disso, o SENAI CIMATEC atualizou os dados de potencial eólico e solar fotovoltaico do estado considerando tanto o aumento expressivo de empreendimentos em operação e já contratados, quanto o avanço tecnológico dos novos aerogeradores disponíveis no mercado. Para o processamento de dados georreferenciados e cálculo de áreas, foram utilizados os *softwares* ArcPRO 3.1[1] e Global Mapper v16.0.[2]. A metodologia de cálculo utilizada para estimar cada uma das variáveis de interesse relativas aos Mapas Temáticos apresentados neste trabalho (Capítulo 6) encontra-se detalhada nos tópicos a seguir.

## 5.1 ÁREAS DE RESTRIÇÃO

Foram consideradas como áreas de restrição todo e qualquer espaço geográfico que possui algum impeditivo técnico e/ou ambiental à implantação de novos empreendimentos, seja para fins de geração de energia ou usos industriais. Desse modo, a área de restrição total do estado da Bahia foi calculada conforme a Equação 1.

$$ART = \sum RPPN + UC_{PI} + MRA + QIA + URB + MIN + CH \quad (1)$$

**Onde / *Where*:**
ART = Área de Restrição Total / *Area Totally Restricted* [km²];
RPPN = Área de Reserva Particular do Patrimônio Natural / *Private Reserve of Natural Heritage Site* [km²];
$UC_{PI}$ = Área de Unidade de Conservação de Proteção Integral / *Full Protection Conservation Unit Area* [km²];
MRA = Área de Mangue, Restinga e Apicum / *Mangrove, Restinga and Apicum Area* [km²];
QIA = Área de Terras Indígenas, Quilombolas e Assentamentos / *Indigenous Land,Quilombola and Settlement Area* [km²];
URB = Área Urbana / *Urban Area* [km²];
MIN = Área de Mineração / *Mining Area* [km²];
CH = Área ocupada por Corpos Hídricos / *Area occupied by Water Bodies* [km²].

Foram consideradas Unidades de Conservação federais, estaduais e municipais. Vale ressaltar que algumas áreas de restrição se sobrepõem a outras. Neste caso, as áreas sobrepostas foram consideradas no cálculo uma única vez.

Diferentemente da metodologia adotada nos Atlas Eólico[3] e Solar[4] da Bahia, neste trabalho as áreas agricultáveis foram consideradas como aptas à geração de energia a partir das fontes eólica e solar fotovoltaica e, por isso, não entraram no cálculo da área de restrição total. O desenvolvimento de atividades agrícolas nessas áreas é uma escolha estratégica e comercial do proprietário/arrendatário, não configurando um impeditivo técnico e/ou ambiental.

A área útil disponível no estado para implantação de novos empreendimentos foi calculada como sendo a diferença entre a área territorial da Bahia e a área de restrição total, conforme indicado na Equação 2.

$$AU = AT - ART$$

**Onde / *Where*:**
AU = Área Útil / *Useful Area* [km²];
AT = Área Territorial da Bahia / *Bahia Territory Area* [km²];
ART = Área de Restrição Total / *Total Restricted Area* [km²].

## 5.2 ENERGIA RENOVÁVEL

A disponibilidade de energia renovável é um fator extremamente relevante para produção do H2V, pois é a fonte de energia prioritária nos processos via eletrólise. Neste trabalho, o potencial eólico foi calculado a partir da disponibilidade de áreas com níveis de velocidade de vento específicos (acima de 7,0 $m.s^{-1}$ a 150 metros de altura). O potencial solar foi calculado a partir das diferentes faixas de GHI (do inglês, *Global Horizontal Irradiation*).

### 5.2.1 POTENCIAL EÓLICO

A estimativa da área ocupada pelos parques eólicos existentes e já contratados, com construção iniciada ou não, no estado da Bahia[5] levou em consideração a potência nominal desses empreendimentos e a densidade de potência eólica efetiva de 4,0 $MW.km^{-2}$, considerando aerogeradores com tecnologias atualmente disponíveis no mercado[6], conforme explicitado na Equação 3.

$$A_{EOL} = \sum \frac{PN_{EOL}}{DPE_{EOL}} \quad (3)$$

**Onde / *Where*:**
$A_{EOL}$ = Área de Parque Eólico / *Wind Farms Area* [km²];
$PN_{EOL}$ = Potência Nominal do Parque Eólico / *Nominal Power of Wind Farms* [MW];
$DPE_{EOL}$ = Densidade de Potência Eólica Efetiva / *Effective Wind Power Density* [$MW.km^{-2}$].

O cálculo da área de recurso eólico disponível foi realizado a partir do mapa de velocidades de ventos acima de 7,0 $m.s^{-1}$ a 150 metros de altura em arquivo de dados geoespaciais vetorizados (*shapefile*), produto do Atlas Eólico da Bahia[3]. Em seguida, foram suprimidas as áreas de restrição e de parques eólicos existentes e já contratados. A Equação 4 evidencia o cálculo dessa variável no presente estudo.

$$ARD_{EOL} = AVV - (ART + A_{EOL})$$

**Onde / *Where*:**
$ARD_{EOL}$ = Área de Recurso Eólico Disponível / *Available Wind Resource Area* [km²];
AVV = Área com velocidades de vento ≥ 7,0 $m.s^{-1}$ a 150 metros de altura / *Area where wind speed is ≥7,0 m.s-1 at 150 meters height* [km²];
ART = Área de Restrição Total / *Total Restricted Area* [km²];
$A_{EOL}$ = Área de Parque Eólico / *Wind Farms Area* [km²].

Por fim, o potencial eólico disponível foi calculado, por faixa de velocidade, como sendo o produto entre a área de recurso eólico disponível e o valor da densidade de potência eólica efetiva, conforme explicitado na Equação 5.

$$P_{EOL} = ARD_{EOL} \times DPE_{EOL}$$

**Onde / *Where*:**
$P_{EOL}$ = Potencial Eólico Disponível / Available Wind Potential [MW];
$ARD_{EOL}$ = Área de Recurso Eólico Disponível / *Available Wind Resource Area* [km²];
$DEP_{EOL}$ = Densidade de Potência Eólica Efetiva / *Effective Wind Power Density* [$MW.km^{-2}$].

*The mapping of the potential for Green Hydrogen production in Bahia was performed by SENAI CIMATEC based on the wind, solar photovoltaic and hydro potentials in the state. The production method considered was water electrolysis, using PEM (Proton Exchange Membrane) technology, with electricity supplied from renewable sources. Technical and environmental restricted areas were excluded from the wind and solar potential calculations. In addition, SENAI CIMATEC updated the wind and solar photovoltaic potential data considering both the significant increase of operating and already contracted enterprises, and the technological advancement of the new wind turbines available in the market. For the processing of georeferenced data and calculation of areas, the ArcPRO 3.1[1] and Global Mapper v16.0[2] softwares were used. T. The calculation methodology used to estimate each of the variables of interest related to the Thematic Maps presented in this work (Chapter 6) is detailed in the following topics.*

## 5.1 RESTRICTED AREAS

*We considered as restricted areas all and any geographic space that has some technical and/or environmental impediment to the implementation of new developments, either for energy generation or industrial uses. In this way, the total restriction area of Bahia State was calculated according to the Equation 1.*

*Federal, state, and municipal Conservation Units were considered. It is worth noting that some restriction areas overlap with others. In these cases, the overlapping areas were considered in the calculation only once.*

*Unlike the methodology adopted in the Wind[3] and Solar Atlas[4] of Bahia, in this work the agricultural areas were considered as suitable for energy generation from wind and solar photovoltaic sources, and therefore not included in the calculation of the total restricted area. The development of agricultural activities in these areas is a strategic and commercial choice of the owner/tenant, not constituting a technical and/or environmental impediment.*

*The usable area available in the state for implementation of new plants was calculated as the difference between the territorial area of Bahia and the total restricted area, as shown in Equation 2.*

## 5.2 RENEWABLE ENERGY

*The availability of renewable energy is an extremely relevant factor for GH2 production, as it is the priority energy source in electrolysis processes. In this work, the wind potential was calculated from the availability of areas with specific wind speed levels (above 7.0 $m.s^{-1}$ at 150 meters altitude). The solar potential was calculated from the different GHI (Global Horizontal Irradiation) ranges.*

### 5.2.1 WIND POTENTIAL

*The estimated area occupied by existing and already contracted wind farms, with construction started or not, in Bahia State[5]took into account the nominal power of these developments and the effective wind power density of 4.0 $MW.km^{-2}$, considering wind turbines with technologies currently available on the market[6], as explained in Equation 3.*

*The calculation of the available wind resource area was performed from the map of wind speeds above 7.0 $m.s^{-1}$ at 150 meters height in vectorized geo space data file (shapefile), product of the Wind Atlas of Bahia[3]. Then, the restricted areas and existing and already contracted wind farms were suppressed. Equation 4 shows the calculation of this variable in this study.*

*Finally, the available wind potential was calculated, per speed range, as the product between the available wind resource area and the value of the effective wind power density, as explained in Equation 5.*

### 5.2.2 PHOTOVOLTAIC SOLAR POTENTIAL

*The estimated area occupied by existing and already contracted energy plants, with construction started or not, in Bahia[5] took into account the nominal power of these plants and the effective solar photovoltaic power density for crystalline silicon technologies with fixed systems, as explained in Equation 6.*

*The effective power density for photovoltaic plants in the USA, with fixed crystalline silicon technology, varies between 33 and 45 MW.km$^{-2}$[7]. In Bahia State, the average power density calculated was approximately 40 MW.km$^{-2}$, considering only solar photovoltaic plants installed and with an approved environmental permit. Thus, assuming that not all available solar resource areas will be used for solar PV generation, since Bahia has a large and diversified productive sector[8], it was decided, conservatively, to use only 10% of the available areas, considering an effective solar photovoltaic power density of 4,0 MW.km$^{-2}$.*

*The calculation of the solar resource area available was performed from the annual global horizontal irradiation (GHI) map in vectorized geospatial data file (shapefile), product of the Bahia Solar Atlas[4]. Then, the restricted and relative areas of existing and already contracted photovoltaic plants were suppressed. Equation 7 explains the calculation of this variable in this study.*

*Finally, the solar potential available was calculated, per GHI range, as the product between the solar resource area available and the value of the effective solar photovoltaic power density, as explained in Equation 8.*

### 5.2.3 AREAS OF WIND AND SOLAR INTERSECTION

*The areas of wind and solar intersection in Bahia State were estimated based on the available wind resource areas with winds from 7 m.s$^{-1}$ to 150 meters height. This is because in all these areas there is incidence of solar radiation that can be used for photovoltaic generation. Thus, the wind and solar potential available in the intersection areas was calculated from the sum of the products between the area of intersection of available wind and solar resources and the effective wind and solar photovoltaic power densities, as described in the Equation 9.*

## 5.3 WATER RESOURCES

*The mapping of Bahia's water potential was carried out based on data contained in the review document of the State Water Resources Plan (PERH), prepared by the Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA) in 2012 at the request of the State Government. This document aims to establish assumptions to ensure the rational use of surface and groundwater, protecting resources against actions that could compromise their current and future use. In addition, hydrogeological data from the public domain were used to map the underground water potentiality of the Aquifer Regions of Bahia State. The quality of the surface and groundwater was evaluated using specific indicators, calculated from data made available by the Institute of Environment and Water Resources (INEMA) and information contained in regional technical-scientific papers.*

### 5.2.2 POTENCIAL SOLAR FOTOVOLTAICO

A estimativa da área ocupada pelas usinas fotovoltaicas existentes e já contratadas, com construção iniciada ou não, no estado da Bahia[5] levou em consideração a potência nominal desses empreendimentos e a densidade de potência solar fotovoltaica efetiva para tecnologias de silício cristalino com sistemas fixos, conforme explicitado na Equação 6.

$$A_{UFV} = \Sigma \frac{PN_{UFV}}{DPE_{UFV}} \quad (6)$$

**Onde** / ***Where***:
$A_{UFV}$ = Área de Usina Fotovoltaica / *Photovoltaic Field Area* [KM²];
$PN_{UFV}$ = Potência Nominal da Usina Fotovoltaica / *Photovoltaic Plants Nominal Power* [MW];
$DPE_{UFV}$ = Densidade de Potência Solar Fotovoltaica Efetiva / *Effective Solar Photovoltaic Power Density* [MW.KM$^{-2}$].

A densidade de potência efetiva para empreendimentos fotovoltaicos nos EUA, com tecnologia de silício cristalino fixo, varia entre 33 e 45 MW.km$^{-2}$[7]. No estado da Bahia, a média de densidade de potência calculada foi de aproximadamente 40 MW.km$^{-2}$, considerando apenas usinas solares fotovoltaicas instaladas e com licença ambiental aprovada. Desta forma, assumindo como premissa que nem todas as áreas de recurso solar disponíveis serão utilizadas para geração de energia solar fotovoltaica, visto que a Bahia possui um setor produtivo amplo e diversificado[8], optou-se, de forma conservadora, por utilizar apenas 10% das áreas disponíveis considerando uma densidade de potência solar fotovoltaica efetiva de 4,0 MW.km$^{-2}$.

O cálculo da área de recurso solar disponível foi realizado a partir do mapa de irradiação global horizontal (GHI) anual em arquivo de dados geoespaciais vetorizados (*shapefile*), produto do Atlas Solar da Bahia[4]. Em seguida, foram suprimidas as áreas de restrição e relativas às usinas fotovoltaicas existentes e já contratadas. A Equação 7 explicita o cálculo dessa variável no presente estudo.

$$ARD_{SOL} = AGHI - (ART + A_{UFV}) \quad (7)$$

**Onde** / ***Where***:
$ARD_{SOL}$ = Área de Recurso Solar Disponível / *Solar Resource Area Available* [km²];
AGHI = Área com Irradiação Global Horizontal / *Global Horizontal Irradiation Area* [km²];
ART = Área de Restrição Total / *Total Restricted Area* [km²];
$A_{UFV}$ = Área de Usina Fotovoltaica / *Photovoltaic Plant Area* [km²].

Por fim, o potencial solar disponível foi calculado, por faixa de GHI, como sendo o produto entre a área de recurso solar disponível e o valor da densidade de potência solar fotovoltaica efetiva, conforme explicitado na Equação 8.

$$P_{UFV} = ARD_{SOL} \times DPE_{UFV} \quad (8)$$

**Onde** / ***Where***:
$P_{UFV}$ = Potencial Solar Fotovoltaico Disponível / *Solar Photovoltaic Potential Available* [MW];
$ARD_{SOL}$ = Área de Recurso Solar Disponível / *Available Solar Resource Area* [km²];
$DPE_{UFV}$ = Densidade de Potência Solar Fotovoltaica Efetiva / *Effective Solar Photovoltaic Power Density* [MW.km$^{-2}$].

### 5.2.3 ÁREAS DE INTERSEÇÃO EÓLICA E SOLAR

As áreas de interseção eólica e solar no estado da Bahia foram estimadas com base nas áreas de recurso eólico disponíveis com ventos a partir de 7 m.s$^{-1}$ a 150 metros de altura. Isso porque em todas essas áreas há incidência de radiação solar passível de aproveitamento para geração fotovoltaica. Desse modo, o potencial eólico e solar disponível nas áreas de interseção foi calculado a partir da soma dos produtos entre a área de interseção de recurso eólico e solar disponível e as densidades de potência eólica e solar fotovoltaica efetivas, conforme descrito na Equação 9.

$$P_{EOL-UFV} = (A_{INT} \times DPE_{EOL}) + (A_{INT} \times DPE_{UFV}) \quad (9)$$

**Onde** / ***Where***:
$P_{EOL-UFV}$ = Potencial Eólico e Solar Fotovoltaico Disponível / *Wind and Solar Photovoltaic Potential Available* [MW];
$A_{INT}$ = Área de Interseção de Recurso Eólico e Solar Disponível / *Area of Wind and Solar Intersection Available* [km²];
$DPE_{EOL}$ = Densidade de Potência Eólica Efetiva / *Effective Wind Power Density* [MW.km$^{-2}$];
$DPE_{UFV}$ = Densidade de Potência Solar Fotovoltaica Efetiva / *Effective Solar Photovoltaic Power Density* [MW.km$^{-2}$].

## 5.3 RECURSOS HÍDRICOS

O mapeamento do potencial hídrico da Bahia foi realizado a partir dos dados contidos no documento de revisão do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), elaborado pelo Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) no ano de 2012, sob demanda do Governo do Estado. Tal documento visa estabelecer pressupostos para garantir a utilização racional das águas superficiais e subterrâneas, protegendo os recursos contra ações que possam comprometer seu uso atual e futuro. Além disso, foram utilizados dados hidrogeológicos de domínio público para mapear a potencialidade hídrica subterrânea das Regiões Aquíferas do estado da Bahia. A qualidade das águas superficiais e subterrâneas foi avaliada a partir de índices específicos, calculados segundo dados disponibilizados pelo Instituo de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) e informações contidas em trabalhos técnico-científicos regionais.

## 5.3.1 ÁGUAS SUPERFICIAIS

Do ponto de vista estadual, a gestão dos recursos hídricos superficiais é realizada com base nas Regiões de Planejamento e Gestão das Águas (RPGAs). A disponibilidade de água superficial foi definida a partir de uma regionalização das vazões de referência observadas em postos fluviométricos instalados nas RPGAs ou em sua proximidade. Desse modo, a disponibilidade hídrica superficial da Bahia foi calculada a partir do somatório das vazões de referência, vazões regularizadas e vazões transferidas estimadas para as 25 RPGAs existentes no estado[9], conforme demonstrado na Equação 10.

$$D = \sum_{RPGAs} Q_{90\%} + Q_{reg} + Q_{transf} \quad (10)$$

**Onde / *Where*:**
D = Disponibilidade Hídrica Superficial [$m^3.ano^{-1}$]
*Surface Waters Resources Available [$m^3.year^{-1}$];*
$Q_{90\%}$ = Vazão com Frequência de 90% [$m^3.ano^{-1}$] / *Flows of 90% Frequency [$m^3.year^{-1}$];*
$Q_{reg}$ = Vazões Regularizadas: reservatórios com acumulação superior a 5 $hm^3$ [$m^3.ano^{-1}$]
*Regularized Flows: reservoirs with accumulation above 5 $hm^3$ [$m^3.year^{-1}$];*
$Q_{transf}$ = Vazões Transferidas [$m^3.ano^{-1}$] / *Transferred Flows [$m^3.year^{-1}$].*

Vale ressaltar que a vazão com frequência de 90%, ou $Q_{90\%}$, é a vazão de referência adotada para a outorga de uso da água no estado da Bahia[9].

A qualidade das águas superficiais foi avaliada a partir do Índice de Qualidade das Águas (IQA) dos principais rios da Bahia. Esse índice foi criado em 1970 nos Estados Unidos pela *National Sanitation Foundation*, e a partir de 1975 começou a ser utilizado pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). Nas décadas seguintes, outros estados brasileiros adotaram o IQA, que hoje é o principal índice de qualidade da água utilizado no país.

Para o desenvolvimento deste projeto, foram utilizados dados de IQA referentes a 3 campanhas sazonais realizadas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) no ano de 2020, contemplando 349 medições válidas. Tais dados estão disponíveis no Sistema Estadual de Informações Ambientais e Recursos Hídricos – SEIA, no endereço eletrônico <www.seia.ba.gov.br>. A Tabela 5.1 apresenta as faixas de classificação do IQA e suas respectivas categorias de enquadramento.

*TABELA 5.1* Classificação do IQA[a].

*TABLE 5.1 IQA classification[a].*

| NÍVEL DE QUALIDADE<br>*QUALITY LEVEL* | INTERVALO DE IQA<br>*IQA INTERVAL* | COR DE REFERÊNCIA<br>*REFERENCE COLOR* |
|---|---|---|
| Ótima<br>*Very Good* | 79 < IQA ≤ 100 | Azul<br>*Blue* |
| Boa<br>*Good* | 51 < IQA ≤ 79 | Verde<br>*Green* |
| Regular<br>*Regular* | 36 < IQA ≤ 51 | Amarelo<br>*Yellow* |
| Ruim<br>*Bad* | 19 < IQA ≤ 36 | Vermelho<br>*Red* |
| Péssima<br>*Very Bad* | 0 < IQA ≤ 19 | Roxo<br>*Purple* |

[a] ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS / *WATER QUALITY INDEX*.

FONTE / *SOURCE*: CETESB[10].

### 5.3.1 SURFACE WATERS

*From the state point of view, the management of surface water resources is carried out based on the Water Planning and Management Regions (RPGAs). The availability of surface water was defined based on a regionalization of the reference flow rates observed in river gauge stations installed in or near the RPGAs. Thus, the surface water availability in Bahia was calculated from the sum of the reference flows, regularized flows and estimated transferred flows for the 25 existing RPGAs in the state[9], as shown in Equation 10.*

*It is worth highlighting that flows of 90% frequency, or $Q_{90\%}$, is the reference flow adopted for the allocation of water use by Bahia State[9].*

*The quality of surface water was evaluated using the Water Quality Index (IQA) of the main rivers of Bahia. This index was created in 1970 in the United States by the National Sanitation Foundation, and from 1975 on it began to be used by CETESB (Environmental Company of São Paulo State). In the following decades, other Brazilian states adopted the IQA, which today is the main water quality index used in the country.*

*For the development of this project, we used IQA data from 3 seasonal campaigns conducted by the Institute of Environment and Water Resources (INEMA) in the year 2020, including 349 valid measurements. These data are available in the State System of Environmental Information and Water Resources - SEIA, at <www.seia.ba.gov.br>. Table 5.1 presents the IQA classification ranges and their respective classification categories.*

### 5.3.2 UNDERGROUND WATERS

*In Bahia there is a significant diversity of aquifer systems, each of them marked by different storage potentials, controlled by intrinsic factors to each geological formation. The underground water potential in Bahia was estimated as the sum of the extractable flows of the State's Aquifer Regions[11], as shown in Equation 11.*

*The Groundwater Potential represents the maximum portion of the water volume that can be used annually, eventually including a portion of the permanent reserves that can be explored, with constant discharges, during a certain period of time[11].*

*The quality of groundwater in Bahia was analyzed using the Index of Natural Groundwater Quality (IQNAS), whose parameters included pH, chloride, total dissolved solids (TDS), hardness, fluoride and nitrate[11]-[13]. For this, data from 1,764 wells[14] distributed in the various hydrogeological domains existing in the state were considered. Table 5.2 presents the IQNAS classification ranges and their respective framing categories.*

### 5.3.3 USAGE DEMANDS

*The water use demand from Bahia was calculated as the sum of the estimated individualized consumption demands for the 25 RPGAs present in the state[9], as explained in Equation 12.*

*It is worth noting that the demand for water use accounted for in this work represents the legal and authorized portion by the competent authorities in Bahia State.*

## 5.3.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Na Bahia há uma diversidade significativa de sistemas de aquíferos, sendo cada um deles marcado por potenciais de armazenamento diferentes, controlados por fatores intrínsecos a cada formação geológica. A potencialidade hídrica subterrânea da Bahia foi estimada como sendo o somatório das vazões explotáveis das Regiões Aquíferas do estado[11], conforme verifica-se na Equação 11.

$$P = \sum BS + FC + CM + MS + EC$$

**Onde** / ***Where***:
P = Potencialidade Hídrica Subterrânea [$m^3.ano^{-1}$];
*Underground Waters Potential [$m^3.year^{-1}$];*
BS = Domínio Hidrogeológico Bacias Sedimentares [$m^3.ano^{-1}$];
*Hydrogeologic Domain Sedimentary Basins [$m^3.year^{-1}$];*
FC = Domínio Hidrogeológico Formações Cenozoicas [$m^3.ano^{-1}$];
*Hydrogeologic Domain Cenozoic Formations [$m^3.year^{-1}$];*
CM = Domínio Hidrogeológico Carbonatos-Metacarbonatos [$m^3.ano^{-1}$];
*Hydrogeologic Domain Carbonates-Metacarbonate [$m^3.year^{-1}$];*
MS = Domínio Hidrogeológico Metassedimentar [$m^3.ano^{-1}$];
*Hydrogeologic Domain Metasedimentary [$m^3.year^{-1}$];*
EC = Domínio Hidrogeológico Embasamento Cristalino [$m^3.ano^{-1}$].
*Hydrogeologic Domain Crystalline Basement [$m^3.year^{-1}$].*

A Potencialidade Hídrica Subterrânea representa a parcela máxima do volume hídrico que pode ser utilizada anualmente, incluindo, eventualmente, uma parcela das reservas permanentes, passíveis de serem explotadas, com descargas constantes durante um determinado espaço de tempo[11].

A qualidade das águas subterrâneas da Bahia foi avaliada a partir do Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS), cujos parâmetros contemplados foram pH, cloreto, sólidos totais dissolvidos (STD)[a], dureza, fluoreto e nitrato[11], [13]. Para isso, foram considerados dados de 1.764 poços[14] distribuídos nos diversos domínios hidrogeológicos existentes no estado. A Tabela 5.2 apresenta as faixas de classificação do IQNAS e suas respectivas categorias de enquadramento.

***TABELA 5.2*** Classificação do IQNAS[a].

***TABLE 5.2*** *IQNAS classification[a].*

| NÍVEL DE QUALIDADE *QUALITY LEVEL* | INTERVALO DE IQNAS *IQNAS INTERVAL* | COR DE REFERÊNCIA *REFERENCE COLOR* |
|---|---|---|
| Ótima *Very Good* | *80,01 < IQNAS ≤ 100* | Azul *Blue* |
| Boa *Good* | *52,01 < IQNAS ≤ 80* | Verde *Green* |
| Aceitável *Acceptable* | *37,01 < IQNAS ≤ 52* | Laranja *Orange* |
| Imprópria *Unsafe* | *0 < IQNAS ≤ 37* | Vermelho *Red* |

[a] ÍNDICE DE QUALIDADE NATURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS / *QUALITY INDEX OF NATURAL UNDERGROUND WATERS.* FONTE / *SOURCE*: OLIVEIRA ET AL. (2007)[13].

## 5.3.3 DEMANDAS DE USO

A demanda de uso da água da Bahia foi calculada como sendo o somatório das demandas consuntivas individualizadas estimadas para as 25 RPGAs existentes no estado[9], conforme explicitado na Equação 12.

$$U = \sum_{RPGAs} DAU + DAR + DAI + DAA + DIR + DPI \quad (12)$$

**Onde** / ***Where***:
U = Demanda de Uso da Água [$m^3.ano^{-1}$] / *Demand for ;*
DAU = Demanda para Abastecimento Humano Urbano [$m^3.ano^{-1}$]
*Demand for Urban Human Supply [$m^3.year^{-1}$];*
DAR = Demanda para Abastecimento Humano Rural [$m^3.ano^{-1}$]
*Demand for Rural Human Supply [$m^3.year^{-1}$];*
DAI = Demanda para Abastecimento Industrial [$m^3.ano^{-1}$]
*Demand for Industrial Supply [$m^3.year^{-1}$];*
DAA = Demanda para Abastecimento Animal [$m^3.ano^{-1}$]
*Demand for Animal Supply [$m^3.year^{-1}$];*
DIR = Demanda para Irrigação [$m^3.ano^{-1}$] / *Demand for Irrigation [$m^3.year^{-1}$];*
DPI = Demanda para Pisicultura e Aquicultura [$m^3.ano^{-1}$]
*Demand for Fish Farming and Aquaculture [$m^3.year^{-1}$].*

Vale ressaltar que a demanda de uso de água contabilizada nesse trabalho representa a parcela legal e outorgada pelos órgãos competentes do estado da Bahia.

### 5.3.4 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A disponibilidade hídrica total do estado da Bahia foi calculada como sendo o somatório entre a disponibilidade hídrica superficial, a potencialidade hídrica subterrânea e as demandas de uso de água, esta assumindo valor negativo, conforme descrito na Equação 13.

$$D_{Bahia} = \sum D + P + (-U) \quad (13)$$

**Onde** / ***Where***:
$D_{Bahia}$ = Disponibilidade Hídrica Total do Estado da Bahia [$m^3.ano^{-1}$];
*Total Water Availability in Bahia State [$m^3.year^{-1}$];*
D = Disponibilidade Hídrica Superficial [$m^3.ano^{-1}$];
*Surface Water Availability [$m^3.year^{-1}$];*
P = Potencialidade Hídrica Subterrânea [$m^3.ano^{-1}$];
*Underground Water Potential [$m^3.year^{-1}$];*
U = Demanda de Uso de Água [$m^3.ano^{-1}$] / *Water Use Demand [$m^3.year^{-1}$].*

## 5.4 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE H2V

O potencial técnico de produção de H2V do estado da Bahia foi calculado a partir dos potenciais eólico e solar fotovoltaico instaláveis. Para isso, foram considerados os valores de fator de capacidade eólica e solar e os consumos de energia elétrica de um eletrolisador de tecnologia PEM. Enquanto a Tabela 5.3 apresenta os fatores de cálculo aplicados na estimativa do potencial técnico de produção de H2V, a Equação 14 explicita o método matemático aplicado.

$$P_{H2V} = \frac{(P_{Eol} \cdot FC_{Eol} + P_{Sol} \cdot FC_{Sol}) \cdot 8760}{C_{EE}} \quad (14)$$

**Onde** / ***Where***:
$P_{H2V}$ = Potencial de Produção de H2V [$t.ano^{-1}$] / *Production Potential of GH2 [$t.year^{-1}$];*
$P_{Eol}$ = Potencial Eólico Instalável / *Potential Wind Instability* [MW];
$FC_{Eol}$ = Fator de Capacidade Eólico Médio / *Medium Wind Capacity Factor* [%];
$P_{Sol}$ = Potencial Solar Instalável / *Potential Solar Instability* [MW];
$FC_{Sol}$ = Fator de Capacidade Solar Médio / *Medium Solar Capacity Factor* [%];
$C_{EE}$ = Consumo de Energia Elétrica do Eletrolisador PEM;
*Energy Consumption of PEM Electrolyzer* [$MWh.t_{H_2}^{-1}$];
8760 = Número de Horas no Ano [$h.ano^{-1}$] / *Hours per Year [$h.year^{-1}$].*

***TABELA 5.3*** Fatores considerados para o cálculo de produção de H2V.

***TABLE 5.3*** *Factors considered for the calculation of GH2 production.*

| VARIÁVEL<br>*VARIABLES* | VALOR ADOTADO<br>*ASSUMED VALUE* |
|---|---|
| Fator de Capacidade Eólica[a]<br>*Wind Capacity Factor[a]* | 44,7% |
| Fator de Capacidade Solar[b]<br>*Solar Capacity Factor[b]* | 18,0% |
| Consumo de Energia Eletrolisador PEM [$MWh.t_{H_2}^{-1}$][c]<br>*Energy Consumption of PEM Electrolyzer [$MWh.t_{H_2}^{-1}$][c]* | 55,6 |

FONTES / *SOURCES*: [a] ATLAS EÓLICO DA BAHIA[3], [b] ATLAS SOLAR DA BAHIA[4], [c] PLUG POWER[15].

A quantidade de água necessária para viabilizar todo o potencial técnico de produção de H2V do estado via eletrólise foi estimada considerando a relação de 15,4 litros de $H_2O$ para cada quilo de $H_2$ produzido[15]. Por fim, estimou-se a representatividade percentual do volume de água necessário em relação à disponibilidade hídrica total da Bahia.

### 5.3.4 WATER AVAILABILITY

*The total water availability of Bahia State was calculated as the sum of the surface water availability, the underground water potential and the water use demands, this last one assuming a negative value, as described in the Equation 13.*

## 5.4 POTENTIAL PRODUCTION OF GH2

*The technical potential for GH2 production in Bahia State was calculated from the installable wind and solar photovoltaic potentials. For this, the wind and solar capacity factor values and the electricity consumptions of a PEM technology electrolyzer were considered. While Table 5.3 presents the calculating factors applied in estimating the technical potential for GH2 production, Equation 14 explains the applied mathematical method.*

*The amount of water required to enable all the technical potential of GH2 production in the state via electrolysis was estimated considering the ratio of 15.4 liters of $H_2O$ for each kilo of $H_2$ produced[15]. Finally, the percentage representativity of the necessary water volume in relation to the total water availability in Bahia was estimated.*

H2V Atlas Bahia

# MAPAS TEMÁTICOS

*THEMATIC MAPS*

H2V Atlas BaHia

# Áreas de restrição

*RESTRICTED AREAS*

MAPA/MAP 6.1

- UCs[a] Federais de Proteção Integral
  *Federal Conservation Units of Full Protection*
- Ucs[a] Estaduais de Proteção Integral
  *State Conservation Units of Full Protection*
- Ucs[a] Municipais de Proteção Integral
  *Municipality Conservation Units of Full Protection*
- Áreas Quilombolas
  *Quilombola areas*
- Assentamentos Rurais
  *Farm settlements*
- Terras Indígenas
  *Indigenous lands*
- Divisas Estaduais
  *State borders*
- Corpos d'água
  *Water bodies*
- RPPN[b]
- Restinga
  *Sandbank*
- Apicum
  *Apicum*
- Área Urbanizada
  *Urban area*
- Mangue
  *Mangrove*
- Mineração
  *Mining*
- Rede de Drenagem
  *Draining line*
- Sedes Municipais
  *City headquarters*

BASE CARTOGRÁFICA / *CARTOGRAPHIC DATABASE:* ANM[1], FUNAI[2], GEOBAHIA[3], IBAMA[4], ICMBIO[5], INCRA[6], MAPBIOMAS[7].

[a] UNIDADES DE CONSERVAÇÃO / *CONSERVATION UNITS.* [b] RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL / *PRIVATE RESERVE OF NATURAL HERITAGE SITE.*

ESCALA 1:3 300 000
Projeção Albers Cônica
Sistema de Referência Cartográfica
SIRGAS 2000
0 25 50 75 100 km

Sistema FIEB | SENAI CIMATEC
PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO
BAHIA
SECRETARIA DO MEIO-AMBIENTE
SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DO PLANEJAMENTO
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

# Velocidade média do vento a 150 m de altura

*AVERAGE WIND SPEED AT 150 m HEIGHT*

MAPA/MAP 6.2

Velocidade do vento ($m.s^{-1}$) / *Wind speed ($m.s^{-1}$)*

3 3,5 4 4,5 5 5,5 6 6,5 7 7,5 8 8,5 9 9,5 10 10,5 11

- Conj. de n usinas fotovoltaicas em construção iniciada e/ou não iniciada — *Photovoltaic plants under construction started and/or not started*
- Conj. de n usinas fotovoltaicas em operação — *Photovoltaic plants in operation*
- Conj. de n parques eólicos em construção iniciada e/ou não iniciada — *Wind farms under construction started and/or not started*
- Conj. de n parques eólicos em operação — *Wind farms in operation*
- Subestações em operação 500 e 230 kV — *Substation in operation 500 and 230 kV*
- Subestações em operação - 138, 69 e 34,5 kV — *Substation in operation - 138, 69 and 34.5 kV*
- Subestações planejadas 500 e 230 kV — *Planned substations 500 and 230 kV*
- Usinas hidrelétricas em operação - UHE — *Hydroelectric power plants in operation - UHE*
- Central geradora hidroelétrica - CGH — *Hydroelectric generating center - CGH*
- Pequenas centrais hidrelétricas em operação - PCH — *Small hydroelectric power plants in operation - PCH*
- Usinas térmicas em operação - UTE — *Thermal power plants in operation - UTE*
- LT 500 kV em operação — *500 kV LT operating*
- LT 500 kV planejada — *500 kV LT planned*
- LT 230 kV em operação — *230 kV LT operating*
- LT 230 kV planejada — *230 kV LT planned*
- LT 138 kV em operação — *138 kV LT operating*
- LT 69 kV em operação — *69 kV LT operating*
- LT 34,5 kV em operação — *34.5 kV LT operating*
- Corpos d'água — *Water bodies*
- Rede de drenagem — *Draining line*
- UCs[a] de proteção integral — *Full protection UCs[a]*
- Rodovia pavimentada — *Paved Road*
- Rodovia implantada — *Established Road*
- Rodovia em leito natural — *Natural-bed road*
- Ferrovias — *Railroads*
- Aeroporto — *Airport*
- Porto organizado — *Organized Port*
- Porto público — *Public Port*
- Terminal de uso privado — *Private Port*
- Divisas estaduais — *State borders*

[a] UNIDADES DE CONSERVAÇÃO / *CONSERVATION UNITS.*

ESCALA 1:3 300 000
Projeção Albers Cônica
Sistema de Referência Cartográfica
SIRGAS 2000
0 25 50 75 100 km

BASE CARTOGRÁFICA / *CARTOGRAPHIC DATABASE:* ANA[8], ANAC[9], ANEEL & SUPEC-SEINFRA/BA[10], ANTAQ[11], NEOENERGIA COELBA[12], DNIT[13].[14], EPE[15], ESRI[16], IBGE[17].[18], ONTL[19], CAMARGO SCHUBERT[20].



Sistema FIEB | SENAI CIMATEC
PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO
BAHIA
SECRETARIA DO MEIO-AMBIENTE
SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DO PLANEJAMENTO
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

# H2V Atlas Bahia

## Irradiação global horizontal anual

*ANNUAL GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION*

MAPA/MAP 6.3

Irradiação global horizontal anual (kWh.m$^{-2}$) / *Annual global horizontal irradiation*

1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200 2400 2600

- Conj. de n usinas fotovoltaicas em construção iniciada e/ou não iniciada — *Photovoltaic plants under construction started and/or not started*
- Conj. de n usinas fotovoltaicas em operação — *Photovoltaic plants in operation*
- Conj. de n parques eólicos em construção iniciada e/ou não iniciada — *Wind farms under construction started and/or not started*
- Conj. de n parques eólicos em operação — *Wind farms in operation*
- Subestações em operação 500 e 230 kV — *Substation in operation 500 and 230 kV*
- Subestações em operação - 138, 69 e 34,5 kV — *Substation in operation - 138, 69 and 34.5 kV*
- Subestações planejadas 500 e 230 kV — *Planned substations 500 and 230 kV*
- Usinas hidrelétricas em operação - UHE — *Hydroelectric power plants in operation - UHE*
- Central geradora hidroelétrica - CGH — *Hydroelectric generating center - CGH*
- Pequenas centrais hidrelétricas em operação - PCH — *Small hydroelectric power plants in operation - PCH*
- Usinas térmicas em operação - UTE — *Thermal power plants in operation - UTE*
- LT 500 kV em operação — *500 kV LT operating*
- LT 500 kV planejada — *500 kV LT planned*
- LT 230 kV em operação — *230 kV LT operating*
- LT 230 kV planejada — *230 kV LT planned*
- LT 138 kV em operação — *138 kV LT operating*
- LT 69 kV em operação — *69 kV LT operating*
- LT 34,5 kV em operação — *34.5 kV LT operating*
- Corpos d'água — *Water bodies*
- Rede de drenagem — *Draining line*
- UCs[a] de proteção integral — *Full protection UCs[a]*
- Rodovia pavimentada — *Paved Road*
- Rodovia implantada — *Established Road*
- Rodovia em leito natural — *Natural-bed road*
- Ferrovias — *Railroads*
- Aeroporto — *Airport*
- Porto organizado — *Organized Port*
- Porto público — *Public Port*
- Terminal de uso privado — *Private Port*
- Divisas estaduais — *State borders*

[a] UNIDADES DE CONSERVAÇÃO / *CONSERVATION UNITS.*

ESCALA 1:3 300 000
Projeção Albers Cônica
Sistema de Referência Cartográfica
SIRGAS 2000
0 25 50 75 100 km

BASE CARTOGRÁFICA / *CARTOGRAPHIC DATABASE:* ANA[8], ANAC[9], ANEEL & SUPEC-SEINFRA/BA[10], AWS TRUEPOWER[21], ANTAQ[11], COELBA[12], EPE[15], DNIT[13],[14], EPE[15], ESRI[16], IBGE[17],[18], ONTL[19].

Sistema FIEB | SENAI CIMATEC — PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO BAHIA

SECRETARIA DO MEIO-AMBIENTE
SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DO PLANEJAMENTO
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

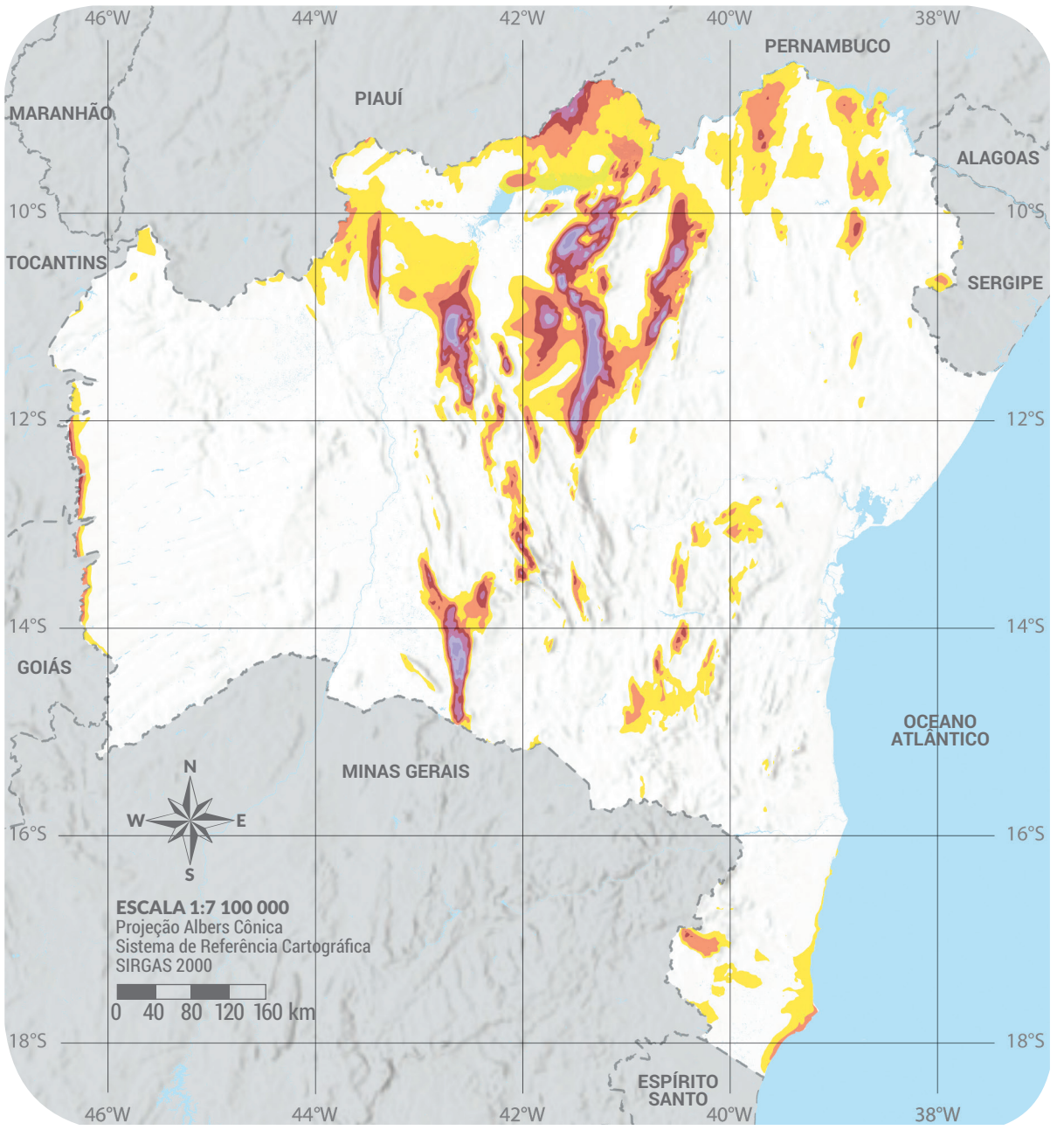
*THEMATIC MAPS*

# MAPAS TEMÁTICOS

## Áreas com potencial eólico acima de 7 m.s$^{-1}$ a 150 m de altura

*AREAS WITH WIND POTENTIAL ABOVE 7 m.s$^{-1}$ AT 150 m HEIGHT*

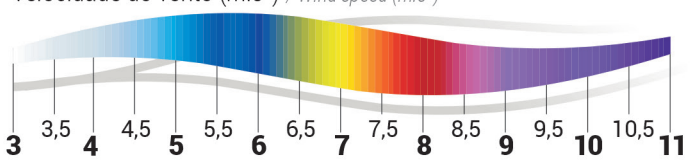
**MAPA/MAP 6.4**




Corpos d'água *Water bodies*

Divisas estaduais *State borders*

Velocidade do vento (m.s$^{-1}$) / *Wind speed (m.s$^{-1}$)*

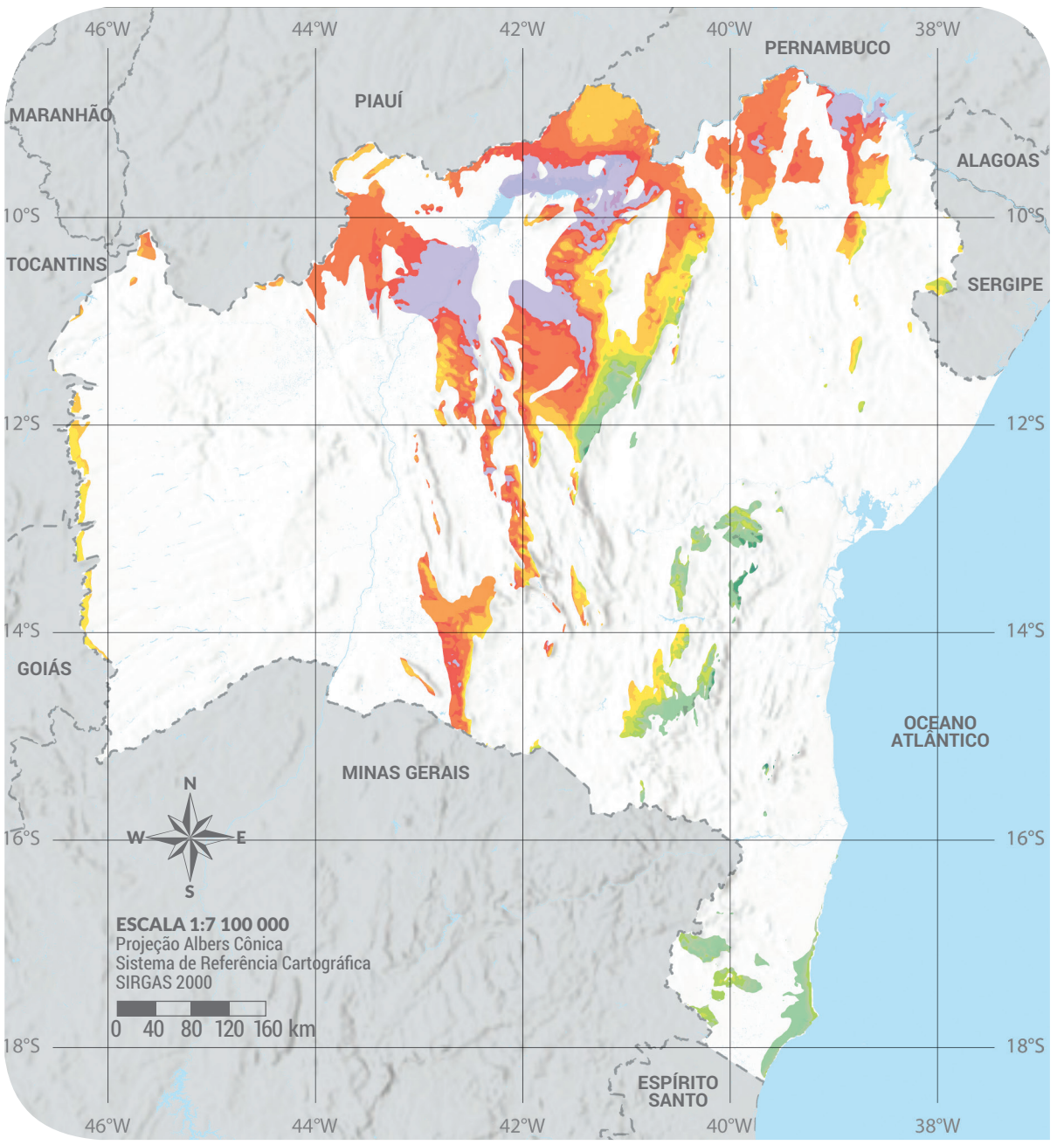



BASE CARTOGRÁFICA / *CARTOGRAPHIC DATABASE:*
ESRI[16], IBGE[17], [18], CAMARGO SCHUBERT[20].

## Irradiação global horizontal das áreas com potencial eólico acima de 7 m.s$^{-1}$ a 150 m de altura

*GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION OF AREAS WITH WIND POTENTIAL ABOVE 7 m.s$^{-1}$ AT 150 m HEIGHT*

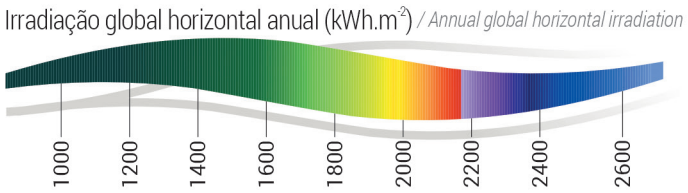
**MAPA/MAP 6.5**




Corpos d'água *Water bodies*

Divisas estaduais *State borders*

Irradiação global horizontal anual (kWh.m$^{-2}$) / *Annual global horizontal irradiation*




BASE CARTOGRÁFICA / *CARTOGRAPHIC DATABASE:*
AWS TRUEPOWER[21], ESRI[16], IBGE[17], [18].

H2V Atlas Bahia

# Complementariedade eólica e solar

*WIND AND SOLAR COMPLEMENTARITY*

MAPA/MAP 6.6

Áreas de intersecção entre os mapas solar e eólico
*Areas of intersection between the solar and wind maps*

- Conj. de n usinas fotovoltaicas em construção iniciada e/ou não iniciada — *Photovoltaic plants under construction started and/or not started*
- Conj. de n usinas fotovoltaicas em operação — *Photovoltaic plants in operation*
- Conj. de n parques eólicos em construção iniciada e/ou não iniciada — *Wind farms under construction started and/or not started*
- Conj. de n parques eólicos em operação — *Wind farms in operation*
- Subestações em operação 500 e 230 kV — *Substation in operation 500 and 230 kV*
- Subestações em operação - 138, 69 e 34,5 kV — *Substation in operation - 138, 69 and 34,5 kV*
- Subestações planejadas 500 e 230 kV — *Planned substations 500 and 230 kV*
- Usinas hidrelétricas em operação - UHE — *Hydroelectric power plants in operation - UHE*
- Central geradora hidroelétrica - CGH — *Hydroelectric generating center - CGH*
- Pequenas centrais hidrelétricas em operação - PCH — *Small hydroelectric power plants in operation - PCH*
- Usinas térmicas em operação - UTE — *Thermal power plants in operation - UTE*
- LT 500 kV em operação — *500 kV LT operating*
- LT 500 kV planejada — *500 kV LT planned*
- LT 230 kV em operação — *230 kV LT operating*
- LT 230 kV planejada — *230 kV LT planned*
- LT 138 kV em operação — *138 kV LT operating*
- LT 69 kV em operação — *69 kV LT operating*
- LT 34,5 kV em operação — *34.5 kV LT operating*
- Corpos d'água — *Water bodies*
- Rede de drenagem — *Draining line*
- UCs[a] de proteção integral — *Full protection UCs[a]*
- Rodovia pavimentada — *Paved Road*
- Rodovia implantada — *Established Road*
- Rodovia em leito natural — *Natural-bed road*
- Ferrovias — *Railroads*
- Aeroporto — *Airport*
- Porto organizado — *Organized Port*
- Porto público — *Public Port*
- Terminal de uso privado — *Private Port*
- Divisas estaduais — *State borders*

[a] UNIDADES DE CONSERVAÇÃO / *CONSERVATION UNITS.*

BASE CARTOGRÁFICA / *CARTOGRAPHIC DATABASE:* ANA[8], ANAC[9], ANEEL & SUPEC-SEINFRA/BA[10], ANTAQ[11], AWS TRUEPOWER[21], NEOENERGIA COELBA[12], DNIT[13], [14], EPE[15], ESRI[16], IBGE[17], [18], ONTL[19], CAMARGO SCHUBERT[20].

ESCALA 1:3 300 000
Projeção Albers Cônica
Sistema de Referência Cartográfica
SIRGAS 2000
0 25 50 75 100 km

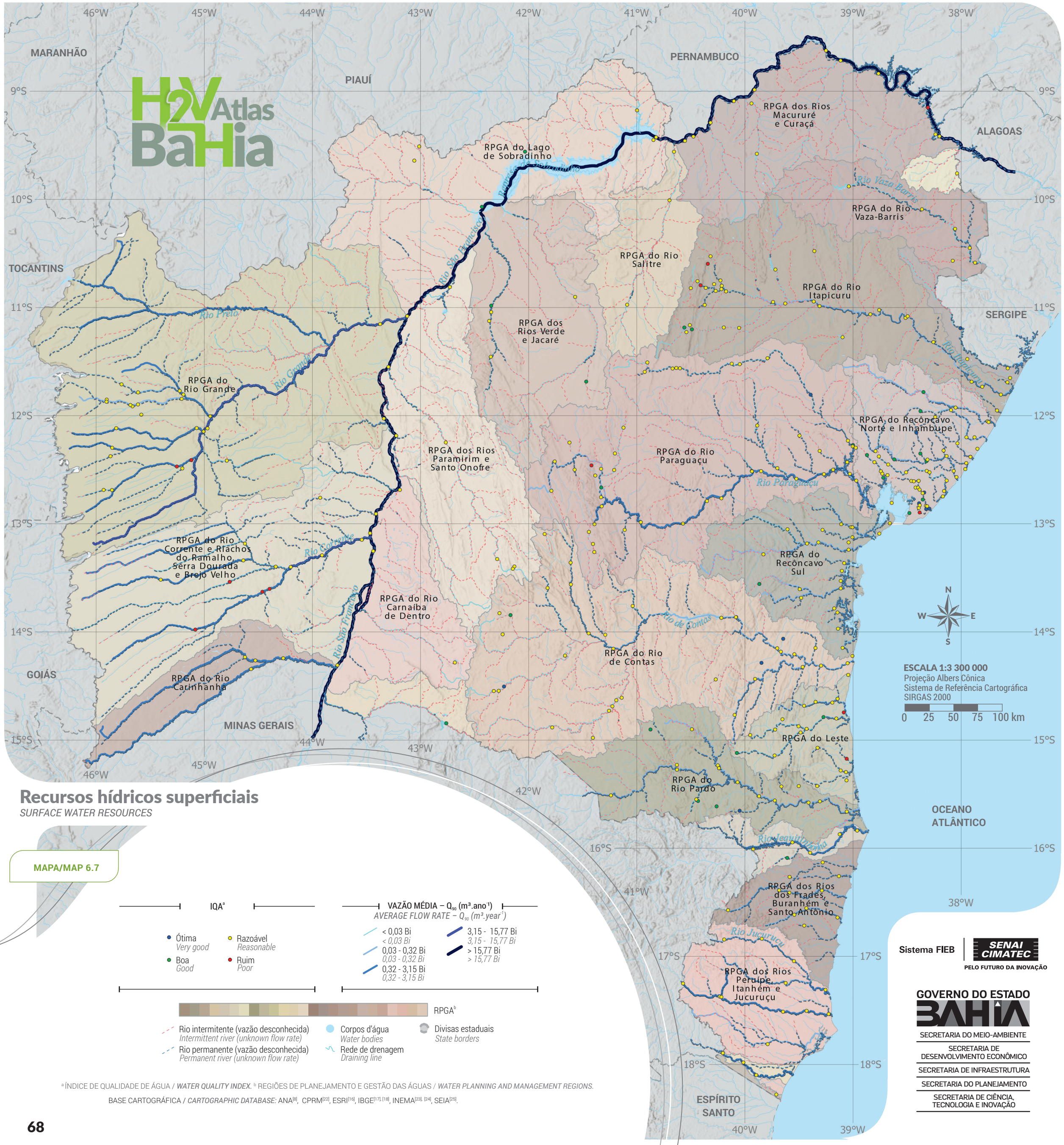
Sistema FIEB | SENAI CIMATEC
PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO
BAHIA
SECRETARIA DO MEIO-AMBIENTE
SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DO PLANEJAMENTO
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

# Recursos hídricos superficiais

*SURFACE WATER RESOURCES*

MAPA/MAP 6.7




IQA[a]

- Ótima *Very good*
- Boa *Good*
- Razoável *Reasonable*
- Ruim *Poor*

VAZÃO MÉDIA – $Q_{90}$ ($m^3.ano^{-1}$)

*AVERAGE FLOW RATE – $Q_{90}$ ($m^3.year^{-1}$)*

- < 0,03 Bi *< 0,03 Bi*
- 0,03 - 0,32 Bi *0,03 - 0,32 Bi*
- 0,32 - 3,15 Bi *0,32 - 3,15 Bi*
- 3,15 - 15,77 Bi *3,15 - 15,77 Bi*
- > 15,77 Bi *> 15,77 Bi*

RPGA[b]

- Rio intermitente (vazão desconhecida) *Intermittent river (unknown flow rate)*
- Rio permanente (vazão desconhecida) *Permanent river (unknown flow rate)*
- Corpos d'água *Water bodies*
- Rede de drenagem *Draining line*
- Divisas estaduais *State borders*

[a] ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA / ***WATER QUALITY INDEX***. [b] REGIÕES DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ÁGUAS / *WATER PLANNING AND MANAGEMENT REGIONS.*

BASE CARTOGRÁFICA / *CARTOGRAPHIC DATABASE:* ANA[8], CPRM[22], ESRI[16], IBGE[17].[18], INEMA[23].[24], SEIA[25].

Sistema FIEB | SENAI CIMATEC
PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO
BAHIA

SECRETARIA DO MEIO-AMBIENTE
SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DO PLANEJAMENTO
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

# H2V Atlas Bahia

## Recursos hídricos subterrâneos
*GROUNDWATER RESOURCES*

MAPA/MAP 6.8

IQNAS[a]

- Imprópria *Improper*
- Aceitável *Acceptable*
- Boa *Good*
- Ótima *Very good*

POTENCIALIDADE HÍDRICA ($m^3.ano^{-1}$)
*Water potential ($m^3.year^{-1}$)*

- Bacias Sedimentares - 31,39 Bi *Sedimentary basins – 31,39 Bi*
- Formações Cenozóicas - 8,70 Bi *Cenozoic formations – 8,70 Bi*
- Carbonatos-metacarbonatos - 2,90 Bi *Metacarbonate carbonates – 2,90 Bi*
- Embasamento Cristalino - 1,45 Bi *Crystalline basement – 1,45 Bi*
- Metassedimentar - 0,93 Bi *Metasedimentary – 0,93 Bi*

Corpos d'água *Water bodies*
Rede de drenagem *Draining line*
Divisas estaduais *State borders*

[a] ÍNDICE DE QUALIDADE NATURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS / *GROUNDWATER NATURAL QUALITY INDEX.*

BASE CARTOGRÁFICA / *CARTOGRAPHIC DATABASE:* ANA[8], ESRI[16], IBGE[17], [18], CPRM[26], [27].

MARANHÃO
PIAUÍ
PERNAMBUCO
ALAGOAS
SERGIPE
TOCANTINS
GOIÁS
MINAS GERAIS
ESPÍRITO SANTO
OCEANO ATLÂNTICO

46°W 45°W 44°W 43°W 42°W 41°W 40°W 39°W 38°W
9°S 10°S 11°S 12°S 13°S 14°S 15°S 16°S 17°S 18°S

N W E S

ESCALA 1:3 300 000
Projeção Albers Cônica
Sistema de Referência Cartográfica
SIRGAS 2000
0 25 50 75 100 km

Sistema FIEB | SENAI CIMATEC
PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO
BAHIA
SECRETARIA DO MEIO-AMBIENTE
SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DO PLANEJAMENTO
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

H2V Atlas Bahia

# ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS

***ANALYSIS AND DIAGNOSIS***

O potencial de produção de H2V via eletrólise do estado da Bahia foi calculado a partir de uma análise integrada dos mapas de vento (velocidades acima de 7,0 m.s$^{-1}$ a 150 metros de altura) e de incidência de radiação solar (diferentes faixas de GHI). Para isso, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento e cálculos de desempenho dos empreendimentos de geração de energia (potência nominal e densidade de potência efetiva), considerando as mais recentes tecnologias de aerogeradores e módulos fotovoltaicos disponíveis no mercado. Além disso, nos cálculos foram considerados fatores de capacidade das tecnologias adotadas e os consumos de energia elétrica e água de um eletrolisador PEM.

## 7.1 ÁREAS DE RESTRIÇÃO

As áreas de restrição do estado da Bahia consideradas no mapeamento realizado totalizaram 51.120 km². Levando em conta toda a área territorial do estado, de aproximadamente 564.732 km²[1], estima-se que a Bahia dispõe de 515.125 km² de área útil para implantação de novos empreendimentos. O Mapa 6.1, disponível no Capítulo 6, apresenta de forma geoespacializada as áreas de restrição categorizadas neste estudo.

Embora a Bahia tenha uma grande área territorial, é crucial levar em conta uma série de fatores significativos ao planejar novos empreendimentos na região. Dentre esses fatores, destaca-se a importância da realização de estudos aprofundados do meio físico, biótico e social da área pretendida, que podem ser mais ou menos complexos e extensos dependendo do tipo, tamanho e localização do empreendimento em questão.

## 7.2 POTENCIAL EÓLICO

O potencial eólico da Bahia foi calculado para as diferentes faixas de velocidade do vento (Tabela 7.1) com base nas áreas de recurso eólico disponíveis em todo o território do estado (Mapa 6.2, , disponível no Capítulo 6). Considerando o avanço da tecnologia dos aerogeradores, atualmente com maiores diâmetros de rotor e alturas de torres, o potencial técnico foi calculado por meio da integração cumulativa das áreas com velocidades de vento a partir de 7,0 m.s$^{-1}$ a 150 metros de altura. Desta forma, a área de recurso eólico disponível no território baiano é de 91.475 km², com uma potência instalável de 365,9 GW e geração de energia elétrica anual de 1.433,2 TWh (Tabela 7.2).

*TABELA 7.1* Potencial eólico onshore por faixa de velocidade.

*TABLE 7.1 Onshore wind potential by speed range.*

| INTEGRAÇÃO POR FAIXAS DE VELOCIDADE<br>*INTEGRATION PER WIND SPEED RANGE* | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Altura [m]**<br>*Height* | **Velocidade do vento [m.s$^{-1}$]**<br>*Wind speed* | **Área disponível [km²]**<br>*Available area* | **Potência instalável [GW]**<br>*Potential installed power* | **Fator de capacidade**<br>*Capacity factor* | **Energia anual [TWh]**<br>*Annual power generation* |
| 150 | 6,0 - 6,5 | 102.844 | 411,4 | 32% | 1.142,3 |
| | 6,5 - 7,0 | 83.824 | 335,3 | 37% | 1.100,0 |
| | 7,0 - 7,5 | 53.789 | 215,2 | 42% | 800,1 |
| | 7,5 - 8,0 | 23.604 | 94,4 | 47% | 392,5 |
| | 8,0 - 8,5 | 9.070 | 36,3 | 47% | 150,3 |
| | 8,5 - 9,0 | 3.528 | 14,1 | 51% | 63,5 |
| | 9,0 - 9,5 | 1.154 | 4,6 | 51% | 20,7 |
| | ≥ 9,5 | 329 | 1,3 | 53% | 6,0 |

*The production potential of GH2 via electrolysis in Bahia State was calculated from an integrated map analysis of wind (velocities above 7.0 m.s$^{-1}$ at 150 meters height) and solar radiation incidence (different GHI ranges). For this, geoprocessing techniques and performance calculations of the energy generation plants (nominal power and effective power density) were used, considering the most recent technologies of wind turbines and photovoltaic modules available in the market. In addition, the calculations considered the capacity factors of the adopted technologies and the electricity and water consumption of a PEM electrolyzer.*

## 7.1 RESTRICTION AREAS

*The restriction areas of Bahia State, considered in the mapping performed, amounted to 51,120 km². Taking into account the entire territorial area of the state, approximately 564,732 km²[1], it is estimated that Bahia has 515,125 km² of useful area for implementing new projects. Map 6.1, available on Chapter 6, presents in a geospatial way the restriction areas in the categories of this study.*

*Although Bahia has a large land area, it is crucial to take into account a number of significant factors when planning new plants in the region. Among these factors, it is fundamental to highlight the importance of performing in-depth studies of the physical, biological and social environment of the intended area, which may be more or less complex and extensive depending on the type, size and location of the project in question.*

## 7.2 WIND POTENTIAL

*The wind potential of Bahia was calculated for the different wind speed ranges (Table 7.1) based on the available wind resource areas in the whole state territory (Map 6.2, available on Chapter 6). Considering the advance in wind turbine technology, currently with larger rotor diameters and tower heights, the technical potential was calculated by cumulatively integrating the areas with wind speeds from 7.0 m.s$^{-1}$ at 150 meters height. Thus, the area of wind resource available in the territory of Bahia is 91,475 km², with a potential installed power of 365.9 GW and annual power generation of 1,433.2 TWh (Table 7.2).*

*It is worth noting that the wind potential was calculated based on the effective wind power density of 4.0 MW.km$^{-2}$, which is related to the wind turbines currently available on the market. However, the area occupied by a wind turbine is substantially smaller than its wind influence area[2]. In this sense, the power densities of wind farms in operation in Bahia, with approved environmental permits, were calculated, resulting in the average value of approximately 100 MW.km$^{-2}$. For this, the areas directly affected by these developments were considered, which include access areas, construction site, sub-stations, wind turbine bases and other needs[3]. Thus, it is estimated that the area of real use for wind farms in the state is only 3.5 thousand km², which represents less than 4% of the entire area of wind resource available.*

*Currently Bahia has 270 wind farms already operating, with a total of 7,363 MW of power. Another 246 contracted wind farms are under construction or with construction not yet started, and are expected to operate until 2028, with a total of 10,166 MW of power (see TABLE 1.1 and TABLE 1.2, both available on Chapter 1).*

***TABELA 7.2*** Potencial eólico *onshore* acumulado.

***TABLE 7.2*** *Wind potential onshore accumulated.*

| INTEGRAÇÃO CUMULATIVA *ACCUMULATED INTEGRATION* | | | |
|---|---|---|---|
| **Velocidade do vento [m.s$^{-1}$]** *Wind speed* | **Área disponível [km²]** *Available area* | **Potência instalável [GW]** *Potential installed power* | **Energia anual [TWh]** *Annual power generation* |
| ≥ 6,0 | 278.142 | 1.112,6 | 3.675,5 |
| ≥ 6,5 | 175.298 | 701,2 | 2.533,1 |
| **≥ 7,0** | **91.475** | **365,9** | **1.433,2** |
| ≥ 7,5 | 37.685 | 150,7 | 633,1 |
| ≥ 8,0 | 14.081 | 56,3 | 240,6 |
| ≥ 8,5 | 5.011 | 20,0 | 90,3 |
| ≥ 9,0 | 1.483 | 5,9 | 26,7 |
| ≥ 9,5 | 329 | 1,3 | 6,0 |

EM DESTAQUE A INTEGRAÇÃO CUMULATIVA DAS ÁREAS COM VELOCIDADES DE VENTO A PARTIR DE 7,0 M.S$^{-1}$ A 150 METROS DE ALTURA, UTILIZADA PARA CALCULAR O POTENCIAL EÓLICO DA BAHIA / *IT HIGHLIGHTS: THE CUMULATIVE INTEGRATION OF AREAS WITH WIND SPEEDS STARTING FROM 7.0 M.S$^{-1}$ AT 150 METERS HEIGHT, USED TO CALCULATE THE WIND POTENTIAL OF BAHIA.*

Vale ressaltar que o potencial eólico foi calculado com base na densidade de potência eólica efetiva de 4,0 MW.km$^{-2}$, que está relacionada com os aerogeradores atualmente disponíveis no mercado. Entretanto, a área ocupada por um aerogerador é substancialmente menor que sua área de influência de vento[2]. Neste sentido, foram calculadas as densidades de potência dos parques eólicos em operação na Bahia, com licenças ambientais aprovadas, chegando-se ao valor médio aproximado de 100 MW.km$^{-2}$. Para isso, foram consideradas as áreas diretamente afetadas por esses empreendimentos, que contemplam as áreas de acesso, canteiro de obras, subestação, bases dos aerogeradores e outras necessidades[3]. Desse modo, estima-se que a área de uso real para implantação de empreendimentos eólicos no estado seja de apenas 3,5 mil km², o que representa menos de 4% de toda a área de recurso eólico disponível.

Atualmente a Bahia possui 270 parques eólicos em operação, totalizando 7.363 MW de potência. Outros 246 parques já contratados estão em fase de construção ou com sua construção ainda não iniciada, com previsão de operação até 2028, totalizando 10.166 MW de potência (ver Tabela 1.1 e Tabela 1.2, ambas disponíveis no Capítulo 1).

***FIGURA 7.1*** Aerogeradores do Complexo Eólico Morro do Chapéu II, localizado no município baiano que leva o mesmo nome e de propriedade da empresa Enel Green Power.

***FIGURE 7.1*** *Wind turbines at the Morro do Chapéu II Wind Complex, located in the Bahian municipality of the same name and owned by Enel Green Power.*

FOTO / *PHOTO:* ENEL GREEN POWER

## 7.3 POTENCIAL SOLAR FOTOVOLTAICO

O potencial solar fotovoltaico do estado foi calculado com base nas áreas de recurso solar disponíveis em todo o território (Mapa 6.3, disponível no Capítulo 6), e considerando todas as faixas de GHI. Desta forma, a área de recurso solar disponível no território baiano é de 511.475 km², com uma potência instalável de 2.045,9 GW e geração de energia elétrica anual de 3.222,7 TWh (Tabela 7.3). É importante frisar sobre a necessidade de uma análise de viabilidade econômica do empreendimento para cada faixa de GHI, visto que os fatores de capacidade e a área efetivamente disponível para geração podem variar significativamente.

***TABELA 7.3*** Potencial solar fotovoltaico.

***TABLE 7.3*** *Solar photovoltaic potential.*

| INTEGRAÇÃO POR FAIXAS DE GHI ANUAL<br>*INTEGRATION PER ANNUAL GHI RANGES* | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Faixa de GHI anual [kWh.m²]**<br>*Annual GHI ranges* | **Área disponível [km²]**<br>*Available area* | **Potência instalável [GW]**<br>*Potential installed power* | **Fator de capacidade**<br>*Capacity factor* | **Energia anual [TWh]**<br>*Annual energy* |
| < 1.800 | 59.494 | 238,0 | 16% | 325,3 |
| 1.800 - 1.900 | 75.217 | 300,9 | 16% | 434,1 |
| 1.900 - 2.000 | 52.569 | 210,3 | 17% | 319,1 |
| 2.000 - 2.100 | 76.046 | 304,2 | 18% | 485,6 |
| 2.100 - 2.200 | 198.288 | 793,2 | 19% | 1.318,2 |
| > 2.200 | 49.860 | 199,4 | 19% | 340,4 |
| **Total** | **511.475** | **2.045,9** | **18%** | **3.222,7** |

Destaca-se que todo esse potencial foi calculado com base na densidade de potência solar fotovoltaica efetiva de 4,0 MW.km$^{-2}$, o que corresponde a aproximadamente 10% da densidade de potência real dos empreendimentos atualmente em operação na Bahia. Desta forma, estima-se que, para a instalação de 2.045,9 GW de potência, os empreendimentos solares fotovoltaicos ocuparão uma área de 55 mil km², representando cerca de 10% da área de recurso solar total disponível no estado.

Atualmente existem 46 usinas fotovoltaicas em operação na Bahia, totalizando 1.359 MW de potência. Outras 270 usinas já contratadas estão em fase de construção ou com sua construção ainda não iniciada, com previsão de operação até 2029, totalizando 10.243 MW de potência (ver Tabela 1.1 e Tabela 1.2, ambas disponíveis no Capítulo 1).

## 7.3 SOLAR PHOTOVOLTAIC POTENTIAL

*The solar photovoltaic potential of the state was calculated based on the solar resource areas available throughout the territory (Map 6.3), and considering all the GHI ranges. Thus, the area of solar resource available in the Bahia territory is 511,475 km², with an installable power of 2,045.9 GW and annual electric power generation of 3,222.7 TWh (Table 7.3). It is important to emphasize the need for an economic viability analysis of the enterprise for each range of GHI, since the capacity factors and the area effectively available for generation can vary significantly.*

*It is important to note that all this potential was calculated based on a density of effective solar photovoltaic power of 4,0 MW.km-², which corresponds to approximately 10% of the real power density of the plants currently in operation in Bahia. Thus, it is estimated that, for the installation of 2,045.9 GW of power, solar photovoltaic plants will occupy an area of 55,000 km², representing about 10% of the total solar resource area available in the state.*

*Currently there are 46 photovoltaic plants operating in Bahia, with a total of 1,359 MW of power. Another 270 plants already contracted are in the construction phase or with their construction not yet started, with operation forecast until 2029, with a total of 10,243 MW of power (see TABLE 1.1 and TABLE 1.2, both available on Chapter 1).*

***FIGURA 7.2*** Parque Solar Ituverava, localizado nas proximidades do município baiano de Tabocas do Brejo Velho. Operado pela Enel Green Power, o parque é um dos maiores da América do Sul e ocupa uma área de 579 hectares. Os seus 850.000 painéis solares são capazes de gerar 550 GWh por ano.

***FIGURE 7.2*** *Ituverava Solar Park, located near the Bahian municipality of Tabocas do Brejo Velho. Operated by Enel Green Power, the park is one of the largest in South America and covers an area of 579 hectares. Its 850,000 solar panels are capable of generating 550 GWh per year.*

FOTO / *PHOTO*: ENEL GREEN POWER

## *7.4 HYBRID POTENTIAL (WIND AND SOLAR PHOTOVOLTAIC)*

*The hybrid potential of the state (Map 6.6, available on Chapter 6) was calculated based on the intersection areas between wind resources (with wind speed from 7.0 m.s$^{-1}$ at 150 meters height) and solar photovoltaic (considering all GHI ranges). Thus, the resulting intersection area was calculated at 91,475 km$^2$, with installable wind and solar photovoltaic power of 731.8 GW.*

## *7.5 WATER AVAILABILITY*

*Bahia has a number of rivers and watercourses that cross its entire territory, some of them perennial, others temporary, and many others intermittent. The most important river of the state is the São Francisco River, extremely valuable for the water supply of the Northeast and Southeast regions and of immeasurable economic, social and cultural value (Figure 7.4). The Paraguaçu, Corrente, Contas, Jequitinhonha, Pardo, Capivari, Grande and Itapicuru Rivers are also outstanding, due to their regional relevance.*

*The mapping of surface water resources carried out in this work estimated a flow rate of 27.8 Billion m$^3$.year$^{-1}$ for the entire territory of Bahia. The RPGAs of the western part of the state (RPGA of the Corrente River and the Ramalho Creek, RPGA of the Grande River and the Serra Dourada and Brejo Velho creeks) stand out in this regard, and together represent approximately 59% of the availability of surface water resources (Map 6.76.7, available on Chapter 6 and Chart 7.1, in its upper section).*

## *7.4 POTENCIAL HÍBRIDO (EÓLICO E SOLAR FOTOVOLTAICO)*

O potencial híbrido do estado (Mapa 6.6, disponível no Capítulo 6) foi calculado com base nas áreas de interseção entre os recursos eólico (com velocidade de vento a partir de 7,0 m.s$^{-1}$ e altura de 150 metros) e solar fotovoltaico (considerando todas as faixas de GHI). Desta forma, a área de interseção resultante foi calculada em 91.475 km$^2$, com potência eólica e solar fotovoltaica instalável de 731,8 GW

## *7.5 DISPONIBILIDADE HÍDRICA*

A Bahia possui uma infinidade de rios e tributários que cortam todo o seu território, parte deles perenes, outros temporários e ainda tantos outros intermitentes. O principal rio do estado é o Rio São Francisco, de extrema relevância para o abastecimento de água das regiões Nordeste e Sudeste e de valor econômico, social e cultural imensurável (Figura 7.3). Destacam-se, ainda, pela sua representatividade regional, os rios Paraguaçu, Corrente, de Contas, Jequitinhonha, Pardo, Capivari, Grande e Itapicuru.

O mapeamento dos recursos hídricos superficiais realizado neste trabalho estimou uma vazão de 27,8 bilhões de m$^3$.ano$^{-1}$ para todo o território baiano. As RPGAs do oeste do estado (RPGA do

Rio Corrente e do Riacho do Ramalho, RPGA do Rio Grande e dos Riachos da Serra Dourada e do Brejo Velho) se destacam nesse quesito, e juntas representam aproximadamente 59% da disponibilidade de recursos hídricos superficiais (Mapa 6.7, disponível no Capítulo 6 e Gráfico 7.1, na sua seção superior).

A demanda de usos consuntivos da água foi estimada em 3,95 bilhões de $m^3.ano^{-1}$. Tal quantitativo corresponde a aproximadamente 5% do total dos recursos hídricos do estado da Bahia. O maior consumo de água é a irrigação, superando em mais de três vezes o consumo para abastecimento humano urbano. Da mesma maneira, as RPGAs supracitadas são as maiores demandantes de água do estado, contabilizando 54% do total quando somadas, o que se justifica pelo elevado desenvolvimento do setor agrícola na região oeste do estado (Gráfico 7.1, na sua seção superior).

A avaliação dos sistemas aquíferos existentes na Bahia evidenciou um potencial hídrico subterrâneo de 45,4 bilhões de $m^3.ano^{-1}$. Destaca-se nesse ponto o domínio hidrogeológico das Bacias Sedimentares, onde está alocado cerca de 69% de toda a potencialidade hídrica subterrânea do estado (Mapa 6.8, disponível no Capítulo 6 e Gráfico 7.1, na sua seção inferior).

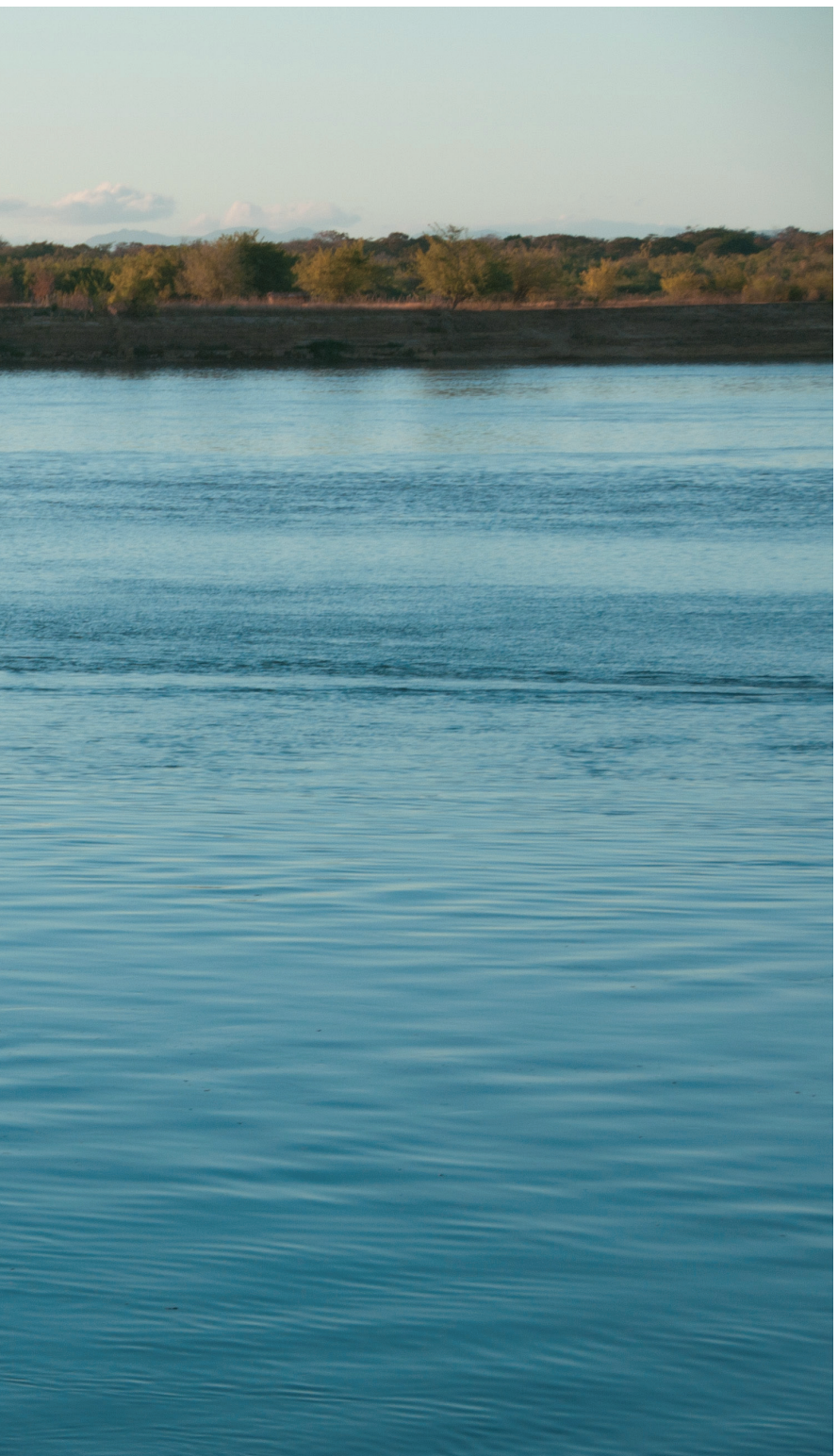


FOTO / *PHOTO:* ZIG KOCH

Desse modo, após contabilizados os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, decrescidos das demandas de usos consuntivos da água, a disponibilidade hídrica total do estado da Bahia é estimada em 69,2 bilhões de $m^3.ano^{-1}$. O Gráfico 7.2 ilustra o contexto geral dos recursos hídricos no território baiano, evidenciando as proporções relativas a cada uma das parcelas significativas mapeadas neste trabalho.

A qualidade das águas superficiais varia significativamente ao longo do território baiano. Águas consideradas de ótima qualidade predominam nas porções oeste e sudeste da Bahia. Águas classificadas como boas se distribuem de maneira quase uniforme por todo estado. Já as águas de qualidade regular ocorrem mais frequentemente nas porções leste e centro-sul, enquanto as águas de qualidade ruim e péssima se concentram na porção leste, com ocorrências pontuais na porção do sudoeste baiano (Mapa 6.7, disponível no Capítulo 6).

As águas subterrâneas no estado são de qualidade predominantemente ótima e boa. De forma espacializada, águas subterrâneas de melhor qualidade situam-se nas porções oeste, sul, centro-oeste e leste da Bahia. Por outro lado, águas subterrâneas classificadas como de qualidade imprópria concentram-se nas porções mais ao norte e nordeste do estado, especificamente nas regiões de pluviosidade menor do que 800 milímetros ao ano (Mapa 6.6).

Não menos importante, há de se ressaltar a existência de outras possibilidades de uso de recursos hídricos como insumo para produção de H2V no estado. Por exemplo, a Bahia possui o maior litoral do Brasil, com uma extensão de 1.183 km de costa, que pode ser facilmente explorado para captação de água salina. Entretanto, sabe-se que o tratamento para dessalinização dessas águas ainda possui custos elevados por conta da necessidade de equipamentos específicos, manutenção, alto consumo de energia e geração de resíduos, o que torna essa fonte de água atualmente uma opção secundária no contexto estadual. Outras fontes, como o reuso de água de efluentes domésticos e processos industriais e a captação pluvial, também podem ser utilizadas como alternativas complementares.

Por fim, orienta-se que a definição dos locais de implantação de novos empreendimentos para produção de H2V via eletrólise na Bahia, cujo principal insumo demandado é a água, priorize regiões com presença significativa de rios perenes e/ou aquíferos de elevada potencialidade hídrica, além de evitar locais com histórico recorrente de conflitos pelo uso da água. A preferência pelo uso de recursos hídricos subterrâneos também é indicada, visto que as águas superficiais, de mais fácil acesso, possuem uma função social primária relevante no atendimento aos seus usos múltiplos.

*The demand for consumption of water was estimated at 3.95 billion $m^3.year^{-1}$. This corresponds to approximately 5% of the total water resources of Bahia State. The largest water consumption is for irrigation, exceeding by more than three times the consumption for urban human supply. In the same way, the RPGAs mentioned above are the largest water demanders in the state, accounting for 54% of the total when added together, which is justified by the high development of the agricultural sector in the western region of the state (Chart 7.1, in its upper section).*

*The evaluation of the existing aquifer systems in Bahia showed an underground water potential of 45.4 billion $m^3.year^{-1}$. At this point, the hydrogeological domain of the Sedimentary Basins stands out, where about 69% of all the underground water potential in the state is allocated (Map 6.8, available on Chapter 6 and Chart 7.1, in its lower section).*

*Thus, after accounting for surface and underground water resources, less the consumption demands of water uses, the total water availability of Bahia State is estimated at 69.2 Billion $m^3.year^{-1}$. Chart 7.2 illustrates the general context of water resources in Bahia, showing the proportions relative to each of the significant parcels mapped in this work.*

*The quality of the surface waters varies significantly over Bahia's territory. Waters considered to be of excellent quality predominate in the western and southeastern portions of the state. Water classified as good is almost uniformly distributed all over the state. Regular quality waters occur more frequently in the eastern and south-central portions, while poor and bad quality waters are concentrated in the eastern region, with occasional occurrences in the southwestern part of Bahia (Map 6.7, available on Chapter 6).*

*Groundwater in the state is of mostly optimum and good quality. According to spatial distribution, groundwater of better quality is located in the western, southern, central-western, and eastern regions of Bahia. On the other hand, groundwater classified as of poor quality is concentrated in the northern and northeastern areas of the state, specifically in regions with rainfall of less than 800 millimeters per year (Map 6.8).*

*No less important is the existence of other possibilities for the use of water resources as an input for GH2 production in the state. For example, Bahia has the longest coastline in Brazil, with 1,138 km long, which can be easily explored for the capture of saline water. However, it is known that the treatment for desalination of these waters still has high costs due to the need for specific equipment, maintenance, high energy consumption, and waste generation, which makes this water source currently a secondary option in the state context. Other sources, such as the reuse of water from domestic effluents and industrial processes and rain water harvesting, can also be used as complementary alternatives.*

*Finally, it is recommended that the definition of sites for the implementation of new plants for the production of GH2 via electrolysis in Bahia, whose main input demanded is water, should prioritize regions with significant presence of perennial rivers and/or aquifers with high potential of water, besides avoiding sites with recurrent history of conflicts over the use of water. The preference for the use of underground water resources is also indicated, since surface water, which is more easily accessible, has a relevant primary social function in meeting its multiple uses.*

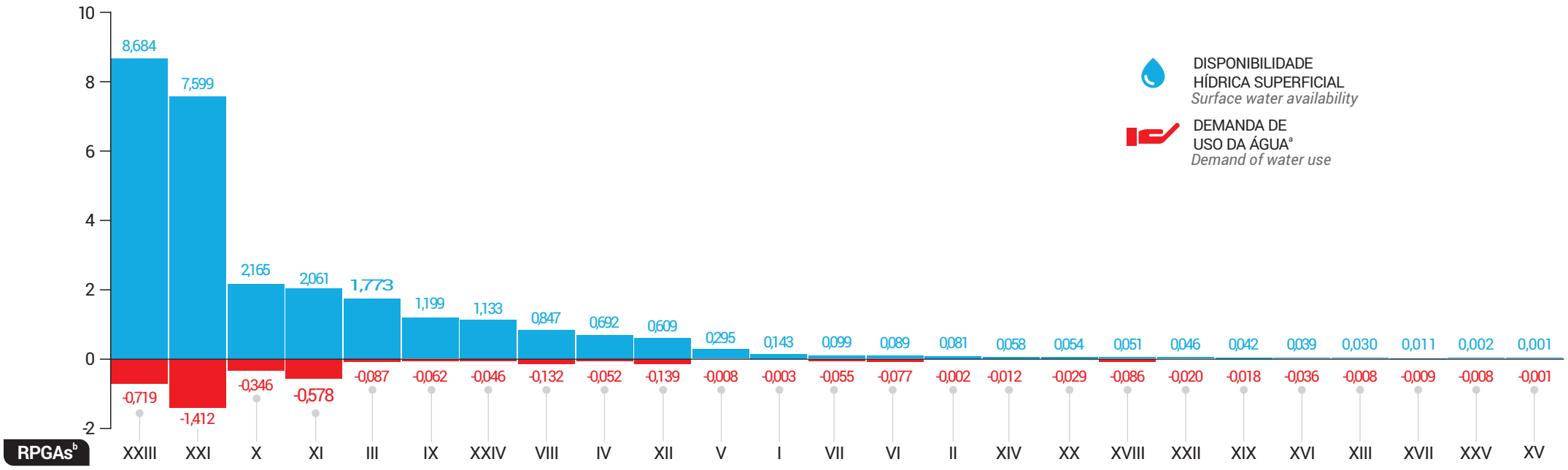
***FIGURA 7.3*** Rio São Franciso, carinhosamente conhecido como Velho Chico. É o maior rio totalmente brasileiro e de extrema importância para a Região Nordeste do país.

***FIGURE 7.3*** *The São Francisco River, known affectionately as Velho Chico. It is the largest river in Brazil and of extreme importance to the Northeast Region of the country.*

*GRÁFICO 7.1* Panorama dos recursos hídricos na Bahia.

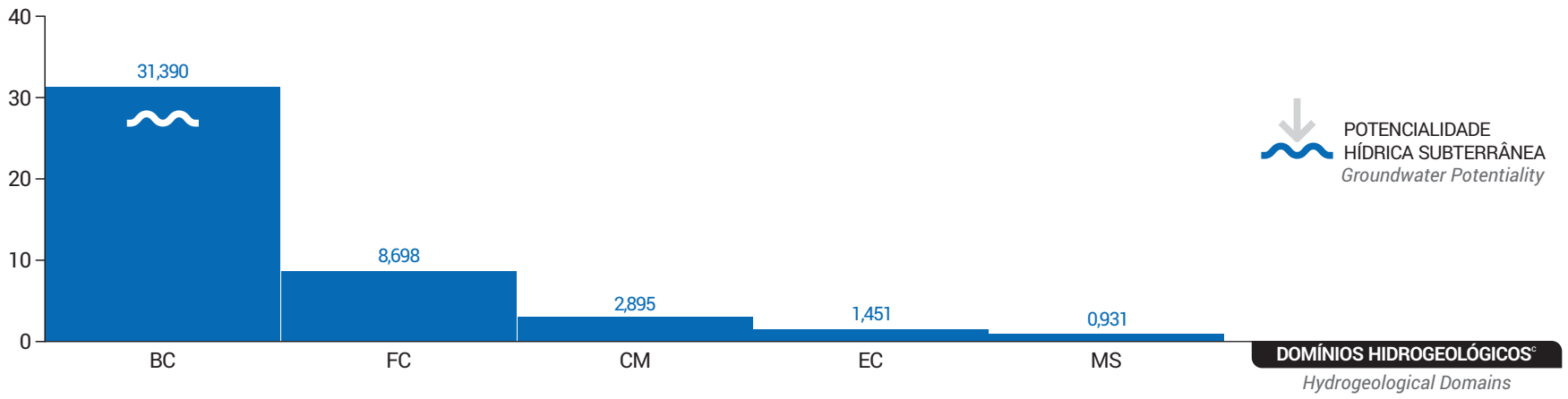
*CHART 7.1* *Overview of water resources in Bahia.*

## DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL
**E DEMANDA DE USO DA ÁGUA [Bi m³.ano⁻¹]** *Surface Water Availability and Water Use Demand[a] [Bi m³.year⁻¹]*




FONTE / SOURCE: IICA (2012)[5].

## POTENCIALIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA *[Bi m³.ano⁻¹]*
*Groundwater Potential [Bi m³.year⁻¹]*




FONTE / SOURCE: NEGRÃO (2008)[4].

[a] AS DEMANDAS CONSUNTIVAS DE USO DA ÁGUA FORAM REPRESENTADAS EM VALORES NEGATIVOS APENAS PARA INDICAR RETIRADA PARA CONSUMO, E COMPREENDEM OS USOS PARA ABASTECIMENTO HUMANO URBANO E RURAL, INDUSTRIAL, ANIMAL, IRRIGAÇÃO, PISCICULTURA E AQUICULTURA. DESTACA-SE QUE OS USOS PARA ABASTECIMENTO HUMANO URBANO, INDUSTRIAL E ANIMAL REPRESENTAM PARCELAS DE ÁGUA EXPLICITAMENTE INDICADAS COMO SENDO DE FONTES SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS.
[b] REGIÕES DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ÁGUAS: I – RIACHO DOCE, II – RIO MUCURI, III – RIOS PERUÍPE, TANHÉM E JUCURUÇU, IV – RIOS DOS FRADES, BURANHÉM E SANTO ANTONIO, V – RIO JEQUITINHONHA, VI – RIO PARDO, VII – LESTE, VIII – RIO DE CONTAS, IX – RECÔNCAVO SUL, X – RIO PARAGUAÇU, XI – RECÔNCAVO NORTE E INHAMBUPE, XII – RIO ITAPICURU, XIII – RIO REAL, XIV – RIO VAZA-BARRIS, XV – RIACHO DO TARÁ, XVI – RIOS MUCURURÉ E CURAÇÁ, XVII – RIO SALITRE, XVIII – RIOS VERDE E JACARÉ, XIX – LAGO DE SOBRADINHO, XX – RIOS PARAMIRIM E SANTO ONOFRE, XXI – RIO GRANDE E DOS RIACHOS DA SERRA DOURADA E DO BREJO VELHO, XXII – RIO CARNAÍBA DE DENTRO, XXIII – RIO CORRENTE E RIACHO DO RAMALHO, XXIV – RIO CARINHANHA, XXV – RIO VERDE GRANDE.
[c] DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS: BC – BACIAS SEDIMENTARES, FC – FORMAÇÕES CENOZOICAS, CM – CARBONATOS-METACARBONATOS, EC – EMBASAMENTO CRISTALINO, MS – METASSEDIMENTAR.

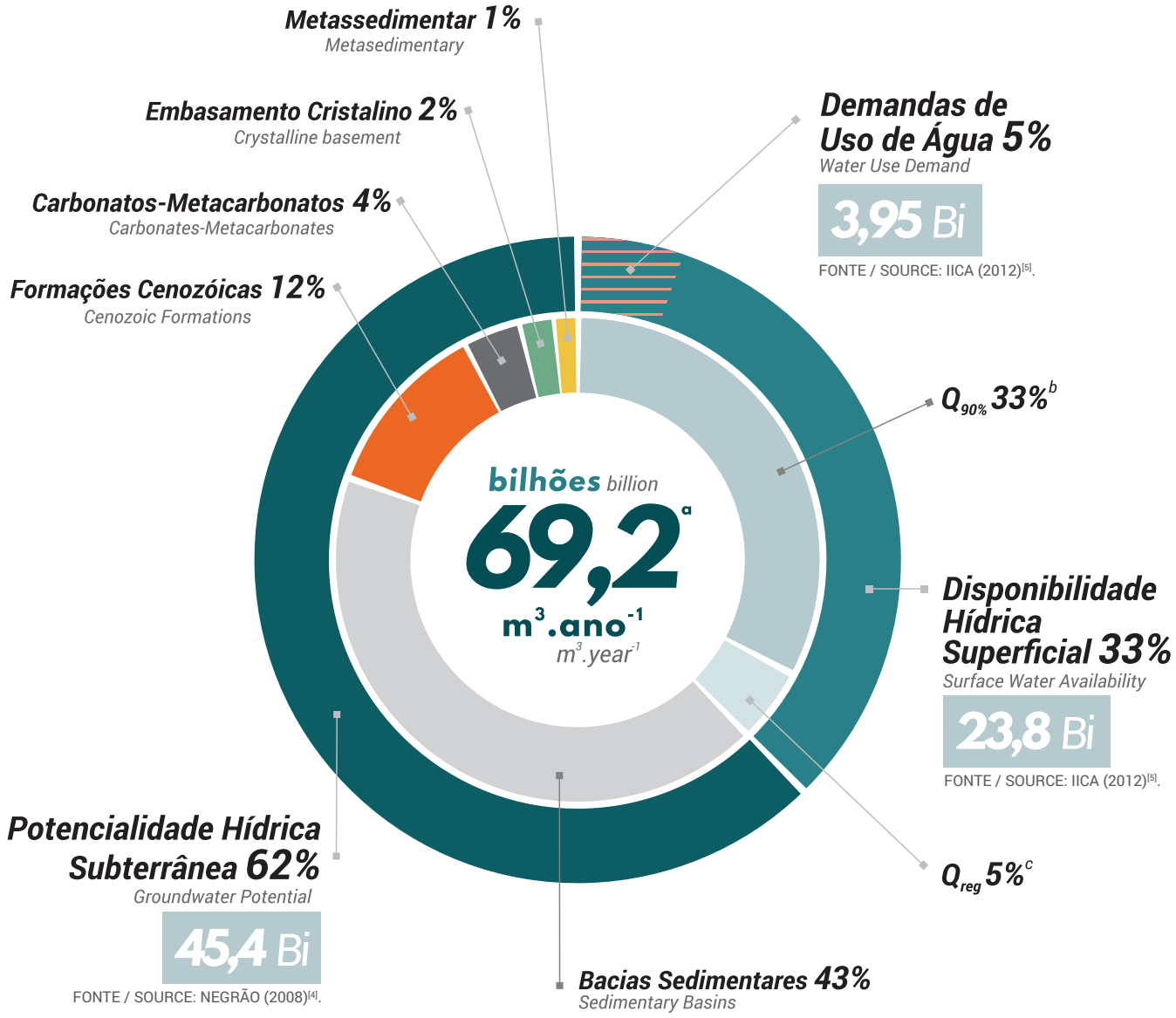
*[a] THE CONSUMPTION DEMANDS OF WATER USE WERE REPRESENTED IN NEGATIVE VALUES ONLY TO INDICATE WITHDRAWAL FOR CONSUMPTION, AND INCLUDE USES FOR URBAN AND RURAL HUMAN SUPPLY, INDUSTRIAL, ANIMAL, IRRIGATION, FISH FARMING, AND AQUACULTURE. IT IS WORTH NOTING THAT THE USES FOR URBAN HUMAN, INDUSTRIAL, AND ANIMAL SUPPLY REPRESENT PORTIONS OF WATER EXPLICITLY INDICATED AS BEING FROM SURFACE AND UNDERGROUND SOURCES.*
*[b] WATER MANAGEMENT AND PLANNING REGIONS: I - RIACHO DOCE, II - MUCURI RIVER, III - PERUÍPE, ITANHÉM AND JUCURUÇU RIVERS, IV - FRADES, BURANHÉM AND SANTO ANTONIO RIVERS, V - JEQUITINHONHA RIVER, VI - PARDO RIVER; VII - EAST, VIII - CONTAS RIVER, IX - SOUTH RECÔNCAVO, X - PARAGUAÇU RIVER, XI - NORTH RECÔNCAVO AND INHAMBUPE, XII - ITAPICURU RIVER, XIII - REAL RIVER, XIV - VAZA-BARRIS RIVER, XV - TARÁ RIVER, XVI - MUCURURÉ AND CURAÇÁ RIVERS, XVII - SALITRE RIVER, XVIII - VERDE AND JACARÉ RIVERS, XIX - SOBRADINHO LAKE, XX - PARAMIRIM AND SANTO ONOFRE RIVERS, XXI - RIO GRANDE AND THE SERRA DOURADA AND BREJO VELHO CREEKS, XXII - CARNAÍBA DE DENTRO RIVER, XXIII - CORRENTE RIVER AND RAMALHO CREEK, XXIV - CARINHANHA RIVER, XXV - VERDE GRANDE RIVER.*
*[c] HYDROGEOLOGICAL DOMAINS: BC - SEDIMENTARY BASINS, FC - CENOZOIC FORMATIONS, CM - CARBONATES-METACARBONATES, EC - CRYSTALLINE BEDROCK; MS - METASEDIMENTARY.*

**GRÁFICO 7.2** Bahia: Disponibilidade hídrica.

**CHART 7.2** *Bahia: Water availability.*

# DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO ESTADO [Bi $m^3.ano^{-1}$]

*Water Availability of the State [Bi $m^3.year^{-1}$]*




[a] VALOR OBTIDO APÓS DESCONTADAS TODAS AS DEMANDAS CONSUNTIVAS DE USO DA ÁGUA DO ESTADO DA BAHIA.
[b] $Q_{90\%}$ É A VAZÃO COM FREQUÊNCIA DE 90%.
[c] $Q_{REG}$ SÃO AS VAZÕES REGULARIZADAS POR RESERVATÓRIOS EXISTENTES COM ACUMULAÇÃO SUPERIOR A 5 $HM^3$ E COM FREQUÊNCIA DE 90%.
$Q_{TRANSF}$ QUE CORRESPONDE ÀS VAZÕES SUPERFICIAIS TRANSFERIDAS, REUNIU VALORES INFERIORES A 1% E, POR ISSO, NÃO FOI EVIDENCIADO NO GRÁFICO.

[a] *VALUE OBTAINED AFTER DISCOUNTING ALL THE CONSUMPTION DEMANDS FOR WATER USE IN BAHIA STATE.*
[b] *$Q_{90\%}$ IS THE FLOW RATE AT 90% FREQUENCY.*
[c] *$Q_{REG}$ ARE THE FLOWS THAT ARE REGULARIZED BY EXISTING RESERVOIRS WITH AN ACCUMULATION GREATER THAN 5 $HM^3$ AND A FREQUENCY OF 90%.*
*$Q_{TRANSF}$ WHICH CORRESPONDS TO THE TRANSFERRED SURFACE FLOWS, GATHERS VALUES OF LESS THAN 1% AND THEREFORE IS NOT SHOWN IN THE GRAPH.*

## *7.6 POTENTIAL PRODUCTION OF GH2*

*Bahia has an estimated production capacity of 84 million tons of GH2 per year. To produce such a potential amount of Green Hydrogen it will be necessary to generate 4,656 TWh.year$^{-1}$ of renewable electric energy, using all the potential of wind and solar photovoltaic generation in the state. The water consumption related to this production is approximately 1.3 billion m$^3$.year$^{-1}$, which is equivalent to less than 2% of the state's total water available.*

## *7.7 GH2 DEMAND FROM THE MAIN ECONOMIC SECTORS*

*The production of $H_2$ associated with renewable sources represents not only the potential of decarbonisation of productive activities, but also the chains in the upstream and downstream industries. At the same time, the production potential identified for Bahia, can meet the internal demand for GH2 as an energy vector and industrial input in several production sectors.*

*In this perspective, besides the activities directly related to the hydrogen chain, especially the chemical and petrochemical industries, its insertion as an input allows the spreading and assimilation of the added value to other activities, which are also prominent in the state, such as the manufacturing of pulp and paper, rubber and plastic materials, machinery, equipment, and metallurgy.*

*Beyond industrial activities, there is an opportunity for the use of GH2 associated with the development of the fertilizer industry, a fundamental factor for the state's competitiveness in agribusiness, in view of the high demand for fertilizers, supplied in large part by imports.*

*Finally, the prominence of Bahia in the supply of anhydrous ammonia, methanol, and hydrogen peroxide, reinforces the importance of the chemical and petrochemical sectors as potential GH2 demanders. In this sense, the Camaçari Industrial Complex, the first planned petrochemical complex in the country, is one of the possible arrangements focused on the development of the GH2 chain.*

## *7.6 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE H2V*

A Bahia tem uma capacidade de produção estimada em 84 milhões de toneladas de H2V por ano. Para produzir tal potencial de Hidrogênio Verde, será necessário gerar 4.656 TWh.ano$^{-1}$ de energia elétrica renovável, utilizando todo o potencial de geração eólica e solar fotovoltaica do estado. O consumo de água relacionado a essa produção é de aproximadamente 1,3 bilhão de m$^3$.ano$^{-1}$, o que equivale a menos de 2% da disponibilidade hídrica total do estado.

## *7.7 DEMANDA DE H2V DOS PRINCIPAIS SETORES ECONÔMICOS*

A produção de $H_2$ associada a fontes renováveis representa não somente o potencial de descarbonização das atividades produtivas, mas também o encadeamento nas indústrias, a montante e a jusante. Ao mesmo tempo, o potencial de produção identificado para a Bahia poderá atender a demanda interna por H2V para uso como vetor energético e insumo industrial nos diversos setores produtivos.

Nessa perspectiva, além das atividades diretamente relacionadas à cadeia do hidrogênio, sobretudo as indústrias química e petroquímica, sua inserção como insumo possibilita o transbordamento e a internalização do seu valor agregado para outras atividades, que também apresentam destaque no estado, como no caso da fabricação de celulose e papel, borracha e material plástico, máquinas, equipamentos e metalurgia.

Para além das atividades industriais, verifica-se a oportunidade no uso de H2V associado ao desenvolvimento da indústria de fertilizantes, fator fundamental para a competitividade do estado no agronegócio, tendo em vista a alta demanda por fertilizantes, atendida em grande parte por importações.

Por fim, o destaque da Bahia no fornecimento de amoníaco anidro, metanol e peróxido de hidrogênio, reforça a importância dos setores químico e petroquímico como potenciais demandantes de H2V. Nesse sentido, o Polo Industrial de Camaçari, primeiro complexo petroquímico planejado do país, figura como um dos possíveis arranjos voltados ao desenvolvimento da cadeia de H2V.

*FIGURA 7.4* H2V na Bahia: Fontes de energia renovável, insumos e potencial de produção.
*FIGURE 7.4* *GH2 in Bahia: Renewable energy sources, inputs and production potential.*

[a] IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL / *GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION.* [b] REGIÕES DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ÁGUAS / *WATER MANAGEMENT AND PLANNING REGIONS.* [c] MEMBRANA DE TROCA DE PRÓTONS / *PROTON EXCHANGE MEMBRANE.*

## 7.8 PERSPECTIVAS DE EXPORTAÇÃO

A Bahia é mundialmente reconhecida como um estado com grande aptidão para geração de energias renováveis, incluindo a eólica e a solar fotovoltaica, além de possuir uma vasta disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, o que permite a produção de Hidrogênio Verde via eletrólise em grande escala. Devido a essas características, a Bahia tem despertado a atenção global como um importante exportador de H2V. É fundamental destacar que a capacidade de exportação do estado não deve se limitar apenas a atender às demandas internacionais, mas também deve atentar para eventuais demandas de outros estados da federação.

Considerando o H2V como um vetor de descarbonização mundial, as projeções de evolução da demanda de $H_2$ no mundo indicam aumentos significativos em setores estratégicos, como refino, transporte, energia e indústria em geral. O Gráfico 7.3 ilustra esse contexto, projetando dois cenários: o primeiro onde não há estímulo econômico governamental e o segundo onde esse estímulo é presente[6]. Vale ressaltar que, no cenário onde há investimento governamental, a meta é atingir o *Net Zero*, onde assume-se zero emissões líquidas de carbono.

Utilizando como base o cenário *Net Zero* mencionado, foi realizada uma projeção de evolução da demanda de $H_2$ tanto para o Brasil quanto para o estado da Bahia, aplicando a mesma taxa de crescimento prevista para o mundo até 2050 (Gráfico 7.4). Observa-se que em 2020 a estimativa da demanda de $H_2$ para o estado da Bahia foi de 85.077 ton.ano$^{-1}$ de hidrogênio, enquanto estima-se para 2050, aproximadamente, 542.178 ton.ano$^{-1}$ de hidrogênio. Nesse período de 30 anos a expectativa de crescimento é de quase 224%. Em relação ao Brasil, a demanda estimada de hidrogênio em 2020 foi de 561.888 ton.ano$^{-1}$, crescendo para, aproximadamente, 3,58 milhões ton.ano$^{-1}$ em 2050.

## 7.8 EXPORTATION PERSPECTIVES

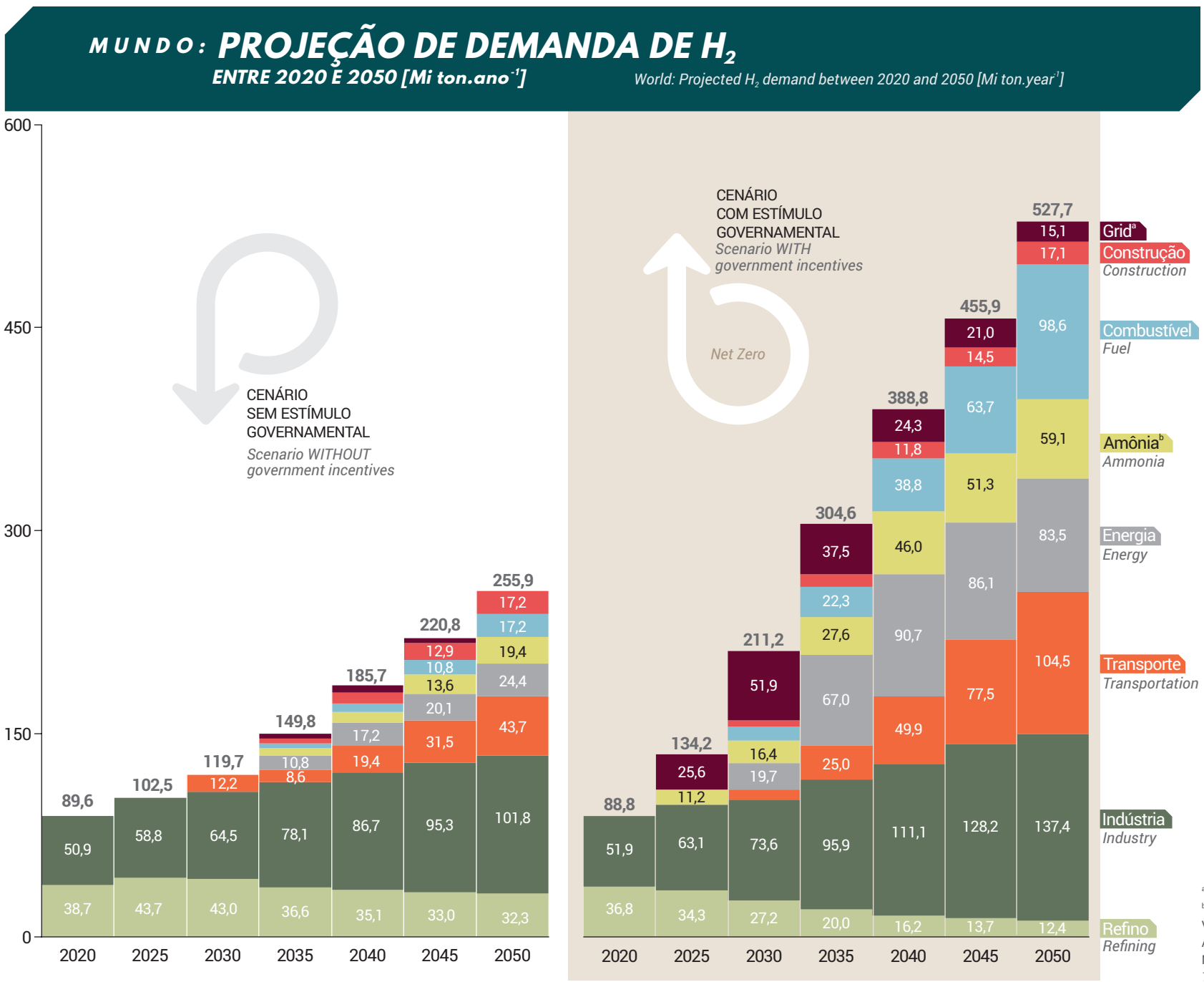
*Bahia is globally recognized as a state with great vocation for renewable energy generation, including wind and solar photovoltaic, besides having a vast availability of surface and underground water, which allows the production of Green Hydrogen via electrolysis on a large scale. Due to these characteristics Bahia has attracted global attention as an important exporter of GH2. It is fundamental to emphasize that the export capacity of the state should not be limited only to meet international demands, but should also pay attention to eventual demands from other Brazilian states.*

*Considering GH2 as a global decarbonisation vector, projections for the evolution of $H_2$ demand in the world indicate significant increases in strategic sectors, such as refining, transportation, energy, and general industry. Chart 7.3 illustrates this context, projecting two scenarios, the first where there is no government economic incentive and the second where such an incentive is present[6]. It is worth noting that in the scenario where there is government investment, the goal is to achieve Net Zero, where zero net carbon emissions are assumed.*

*Using the mentioned Net Zero scenario as a base, a projection of the evolution of $H_2$ demand was made both for Brazil and for Bahia State, applying the same growth rate forecast for the world up to 2050 (Chart 7.4). It can be observed that in 2020 the estimated $H_2$ demand for Bahia State was 85,077 ton.year$^{-1}$ of hydrogen, while it is estimated for 2050 approximately 542,178 ton.year$^{-1}$ of hydrogen. In this 30 year period the expected growth is almost 224%. Regarding Brazil, the estimated hydrogen demand in 2020 was 561,888 ton.year$^{-1}$, growing to approximately 3.58 million ton.year$^{-1}$ in 2050.*

**GRÁFICO 7.3** Mundo: Projeção da demanda de $H_2$ entre 2020 e 2050.

**CHART 7.3** *World: Projected $H_2$ demand between 2020 and 2050.*




FONTE / SOURCE: IEA[6] (ADAPTADO / *ADAPTED*).

[a] INJEÇÃO DE $H_2$ NO *GRID* / *INJECTION OF $H_2$ IN THE GRID.*
[b] AMÔNIA COMBUSTÍVEL / *AMMONIA FUEL.*
VALORES DE PROJEÇÃO DA DEMANDA DE $H_2$ INFERIORES A 10 MILHÕES DE TONELADAS NÃO FORAM EXPLICITADOS NOS GRÁFICOS / *PROJECTED $H_2$ DEMAND VALUES OF LESS THAN 10 MILLION TONS ARE NOT SHOWN IN THE GRAPHS.*

*Considering the estimates of $H_2$ demand in Bahia, Brazil and the world, three GH2 production scenarios were proposed for Bahia State, taking as reference the years 2025, 2030 and 2050. In all scenarios, the following assumptions were adopted:*

- *Supply 100% of demand from Bahia;*
- *Supply 100% of demand from Brazil;*
- *Supply 1% of worldwide demand, considering Net Zero scenario.*

*According to the scenario outlined for 2025, the total demand for GH2 is estimated to reach 2.17 million tons per year. To supply this demand, it is necessary to have an electrolyzer infrastructure with a total power of 13.80 GW, resulting in an electricity consumption of 120.91 TWh and an estimated water consumption of 33 million m³ per year. Furthermore, the renewable energy power required to achieve this production through a solar photovoltaic system is 76.68 GW, while a wind power system would require 30.88 GW.*

*For 2030, the proposed scenario estimates a total demand of 3.50 million tons per year of GH2. To achieve this goal an electrolyzer infrastructure with a total output of 22.19 GW will be required, resulting in an electricity consumption of 194.38 TWh and water consumption of 53.10 million m³ per year. In addition, the renewable energy power required to achieve this production through a solar photovoltaic system is 123.28 GW and through a wind power system is 49.64 GW.*

*For 2050, the proposed scenario projects a total demand for GH2 of 8.95 million tons per year. This requires an electrolyzer infrastructure with a total output of 56.77 GW, resulting in an electricity consumption of 497.34 TWh and water consumption of 135.87 million m³ per year. In addition, the renewable energy power required to achieve this production through a solar photovoltaic system is 315.41 GW and through a wind power system is 127.01 GW.*

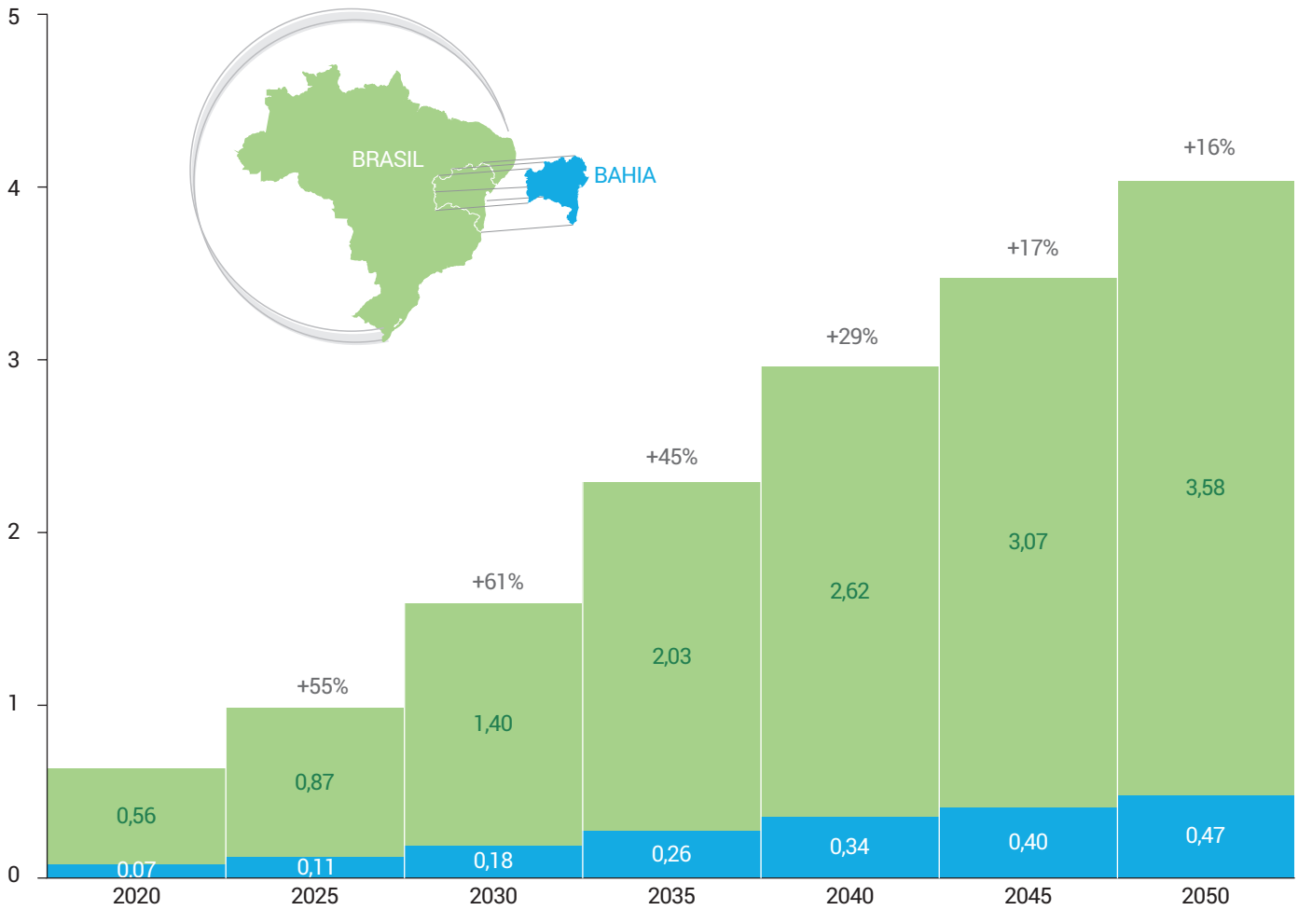
*Chart 7.5 illustrates the three mentioned GH2 production scenarios for Bahia State, showing the main indicators for each one.*

***GRÁFICO 7.4*** Brasil e Bahia: Projeção da demanda de $H_2$ entre 2020 e 2050.

***CHART 7.4*** *Brazil and Bahia: Projected demand for $H_2$ between 2020 and 2050.*

**BRASIL E BAHIA: PROJEÇÃO DA DEMANDA DE $H_2$ ENTRE 2020 E 2050 [Mi ton.ano$^{-1}$]**

*Brazil and Bahia: Projected demand for $H_2$ between 2020 and 2050 [Mi ton.year$^{-1}$]*




PERCENTUAL ACIMA DAS COLUNAS INDICA AS TAXAS DE CRESCIMENTO DA DEMANDA DE $H_2$ PREVISTAS PARA O MUNDO ATÉ 2050, POSTERIORMENTE PROJETADAS PARA O BRASIL E PARA A BAHIA / *PERCENTAGES ABOVE THE COLUMNS INDICATE THE GROWTH RATES OF $H_2$ DEMAND FORECAST FOR THE WORLD UNTIL 2050, AND FURTHER PROJECTED FOR BRAZIL AND BAHIA.*

Considerando as estimativas de demanda de $H_2$ da Bahia, do Brasil e do mundo, foram propostos três cenários de produção de H2V para o estado da Bahia, tendo como referência os anos de 2025, 2030 e 2050. Em todos os cenários foram adotadas as seguintes premissas:

- Atender em 100% a demanda interna da Bahia;
- Atender em 100% a demanda do Brasil;
- Atender em 1% a demanda mundial, considerando o cenário *Net Zero*.

De acordo com o cenário traçado para o ano de 2025, estima-se que a demanda total de H2V alcance 2,17 milhões de toneladas por ano. Para suprir essa demanda, é necessário contar com uma infraestrutura de eletrolisadores com potência total de 13,80 GW, resultando em um consumo de energia elétrica de 120,91 TWh e um consumo de água estimado em 33 milhões de m³ por ano. Além disso, a potência de energia renovável necessária para atingir essa produção através de um sistema solar fotovoltaico é de 76,68 GW, enquanto um sistema eólico demandaria 30,88 GW.

Para o ano de 2030, o cenário proposto estima uma demanda total de 3,50 milhões de toneladas por ano de H2V. Para alcançar essa meta será necessária uma infraestrutura de eletrolisadores com potência total de 22,19 GW, resultando em um consumo de energia elétrica de 194,38 TWh e de água na ordem de 53,10 milhões de m³ por ano. Além disso, a potência de energia renovável necessária para atingir essa produção por meio de um sistema solar fotovoltaico é de 123,28 GW e através de um sistema eólico é de 49,64 GW.

Para o ano de 2050, o cenário proposto prevê uma demanda total de 8,95 milhões de toneladas por ano de H2V. Para tal, faz-se necessária uma infraestrutura de eletrolisadores com potência total de 56,77 GW, resultando em um consumo de energia elétrica de 497,34 TWh e de água na ordem de 135,87 milhões de m³ por ano. Além disso, a potência de energia renovável necessária para atingir essa produção por meio de um sistema solar fotovoltaico é de 315,41 GW e através de um sistema eólico é de 127,01 GW.

O Gráfico 7.5 ilustra os três cenários mencionados de produção de H2V para o estado da Bahia, evidenciando os principais indicadores de cada um deles.

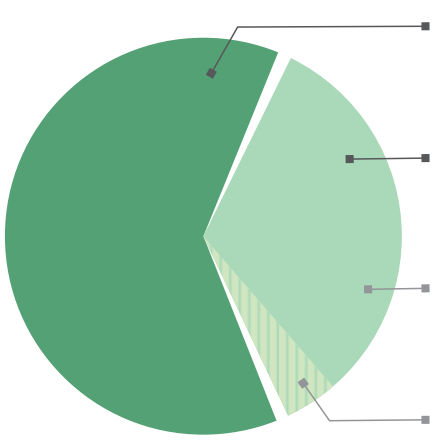
*GRÁFICO 7.5* Bahia: Cenários de exportação de H2V e consumo interno.

*CHART 7.5* *Bahia: GH2 export scenario and domestic consumption.*

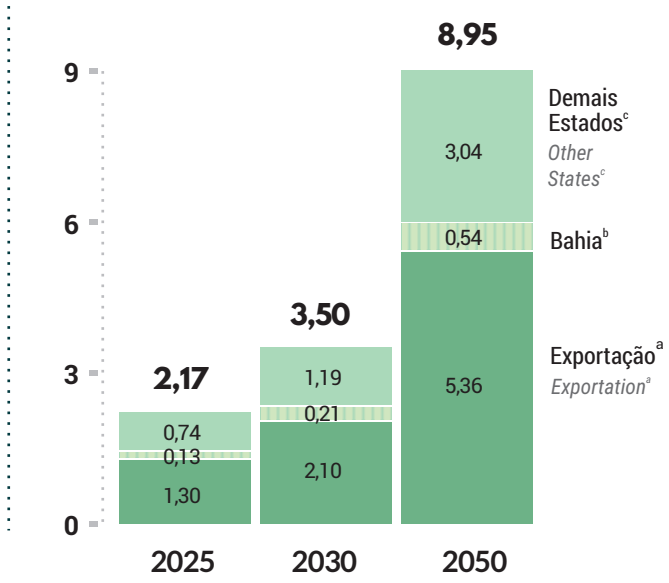
# H2V *na Bahia:* cenários de exportação e consumo interno

*GH2 in Bahia: Export scenario and domestic consumption*

**percentuais**
*percentages*




**volumes [Mi ton.ano$^{-1}$]**
*volumes [mi ton.year$^{-1}$]*




## potências elétricas e consumo de água associados à produção de H2V

*electric power and water consumption associated with GH2 production*

| | 2025 | 2030 | 2050 |
|---|---|---|---|
| **PRODUÇÃO TOTAL DE H2V** *TOTAL GH2 PRODUCTION* | 2,17 Mi [ton.ano$^{-1}$] *2.17 Mi [ton.year$^{-1}$]* | 3,50 Mi [ton.ano$^{-1}$] *3.5 Mi [ton.year$^{-1}$]* | 8,95 Mi [ton.ano$^{-1}$] *8.95 Mi [ton.year$^{-1}$]* |
| **Potência de Eletrolisador** *Electrolyzer Power* | 13,80 [GW] *13.8* | 22,19 [GW] *22.19* | 56,77 [GW] *56.77* |
| **Consumo de Energia** *Energy Consumption* | 120,91 [TWh] *120.91* | 194,38 [TWh] *194.38* | 497,34 [TWh] *497.34* |
| **Consumo de Água** *Water Consumption* | 27,52 Mi [m$^3$.ano$^{-1}$] *27.52 Mi [m$^3$.year$^{-1}$]* | 39,27 Mi [m$^3$.ano$^{-1}$] *39.27 Mi [m$^3$.year$^{-1}$]* | 91,82 Mi [m$^3$.ano$^{-1}$] *91.82 Mi [m$^3$.year$^{-1}$]* |
| **Potência de Usina Solar Fotovoltaica** *Power of Photovoltaic Solar Plant* | 76,88 [GW] *76.88* ou / *or* | 123,28 [GW] *123.28* ou / *or* | 315,41 [GW] *315.41* ou / *or* |
| **Potência de Parque Eólico** *Power of Wind Farm* | 30,88 Mi [GW] *30.88 Mi* | 49,64 Mi [GW] *49.64 Mi* | 27,01 [GW] *21.01* |

[a] CORRESPONDE A 1% DA DEMANDA MUNDIAL PROJETADA DE $H_2$, CONSIDERANDO O CENÁRIO *NET ZERO* / *CORRESPONDS TO 1% OF THE PROJECTED WORLD DEMAND FOR $H_2$, CONSIDERING THE NET ZERO SCENARIO.* [b] CORRESPONDE A 100% DA PROJEÇÃO DA DEMANDA INTERNA DE $H_2$ DO ESTADO DA BAHIA / *CORRESPONDS TO 100% OF THE PROJECTED INTERNAL $H_2$ DEMAND OF BAHIA STATE.* [c] CORRESPONDE A 100% DA DEMANDA PROJETADA DE $H_2$ PARA OS DEMAIS ESTADOS DA FEDERAÇÃO, COM EXCEÇÃO DA BAHIA / *CORRESPONDS TO 100% OF THE PROJECTED DEMAND OF $H_2$ FOR OTHER BRAZILIAN STATES, EXCEPT FOR BAHIA.*

H2V Atlas Bahia

# ÁREAS PRIORITÁRIAS

*PRIORITY AREAS*

FOTO / *PHOTO*: JORNAL GRANDE BAHIA (JGB)

***FIGURA 8.1*** Baía de Todos-os-Santos, maior baía de águas abrigadas do Brasil. Na imagem, destaque para a infraestrutura do Porto de Salvador. Ao fundo, contornos da Ilha de Itaparica, Vera Cruz, Bahia.

***FIGURE 8.1*** *Figure 8.1 Baía de Todos-os-Santos, the largest sheltered bay in Brazil. In the image, the infrastructure of the Port of Salvador is highlighted. In the background, boundaries of Itaparica Island, Vera Cruz, Bahia.*

A Bahia é o quinto maior estado do país em área territorial[1]. Possui o maior litoral do Brasil, com uma extensão de 1.183 km. Ao mesmo tempo em que contempla a leste a maior baía de águas abrigadas do país, a Baía de Todos-os-Santos, que oferece excelentes condições naturais para navegação e acesso irrestrito ao Oceano Atlântico[2], o estado também abriga ao norte o Lago de Sobradinho, um dos maiores lagos artificiais do mundo, utilizado principalmente para geração hidrelétrica, agricultura e abastecimento humano[3]. No extremo sul do estado encontra-se instituído o primeiro parque nacional marinho do Brasil, o arquipélago dos Abrolhos[4], que abriga a maior biodiversidade marinha do Brasil e do Atlântico Sul, parte dela considerada endêmica[5]. Já o extremo oeste baiano é reconhecido mundialmente pela sua eficiente atividade agrícola, especialmente com a produção de soja e milho[6]. Essa multiplicidade de características, traduzidas nos diferentes relevos, climas e biomas encontrados ao longo de todo o território baiano, é de uma riqueza única, o que torna a Bahia um estado singular.

Somado a isso, existe um contexto histórico complexo de uso e ocupação das terras desde a chegada dos portugueses até os dias atuais. Todas essas características refletem na diversidade sociocultural do estado, que abriga aproximadamente 15 milhões de habitantes[7], incluindo 30 povos indígenas, 39 Quilombos, mais de 550 Assentamentos Agrícolas e 150 Comunidades Tradicionais[8]. A economia da Bahia é diversificada, com fortes setores de comércio/serviços, agropecuária e indústria, incluindo refino, petroquímica, química, agroindústria, papel e celulose, óleo e gás, mineração, siderurgia, entre outros[9], [10]. Diferenças significativas também são observadas nos índices de desenvolvimento (emprego e renda, educação e saúde)[11], urbanização, concentração de riquezas[9], infraestrutura e tantos outros indicadores em todo o território baiano.

Essa diversidade geográfica, ambiental, histórica, social, cultural e econômica traz uma série de desafios, com vantagens, desvantagens, restrições e oportunidades para o desenvolvimento da cadeia produtiva do H2V nas diferentes regiões do estado. Nesse aspecto, com o objetivo de mensurar e comparar a aptidão dos diferentes Territórios de Identidade para a produção de Hidrogênio Verde (H2V) e, a partir disso, indicar áreas prioritárias para o desenvolvimento da economia do H2V na Bahia, foi proposto um modelo matemático para auxiliar na tomada de decisão.

*Bahia is the fifth largest Brazilian state in land area[1]. It has the longest coastline in the country, with an extension of 1,183 km. At the same time it contemplates to the east the largest sheltered bay in the country, the Baía de Todos-os-Santos, which offers excellent natural conditions for navigation and unrestricted access to the Atlantic Ocean[2], the state is also home in the north to Lake Sobradinho, one of the largest artificial lakes in the world, used mainly for hydroelectric power generation, agriculture and human supply[3]. The first national marine park in Brazil, the Abrolhos Archipelago, is located in the extreme south of the state[4], home to the largest marine biodiversity in Brazil and the South Atlantic, part of which is considered endemic[5]. The far west of Bahia is known worldwide for its efficient agricultural activity, especially with the production of soybeans and corn[6]. This multiplicity of characteristics, translated into the different topography, climates, and biomes found throughout the Bahian territory, is of a remarkable richness, which makes Bahia a unique state.*

*Added to this, there is a complex historical context of land use and occupation since the arrival of the Portuguese until today. All these characteristics reflect the socio-cultural diversity of the state, which is home to approximately 15 million inhabitants[7], including 30 indigenous peoples, 39 Quilombos, more than 550 Agricultural Settlements and 150 Traditional Communities[8]. The economy of Bahia is quite diverse, with strong sectors of commerce/services, agribusiness and industry, including refining, petrochemicals, chemicals, agro-industry, pulp and paper, oil and gas, mining, siderurgy, among others[9], [10]. Significant differences are also observed in the indicators of development (employment and income, education and health)[11], urbanization, wealth concentration[9], infrastructure and many other indicators throughout the territory of Bahia.*

*This geographical, environmental, historical, social, cultural and economic diversity brings a series of challenges, with advantages, disadvantages, restrictions and opportunities, for the development of the GH2 production chain in the different regions of the state. In this aspect, aiming to measure and compare the aptitude of the different Territories of Identity for the production of Green Hydrogen (GH2) and, based on that, indicate priority areas for the development of the GH2 economy in Bahia, a mathematical model was proposed to help in the decision making process.*

FOTOS / *PHOTOS*: ZIG KOCH

***FIGURA 8.2*** Lago de Sobradinho, maior lago artificial do Brasil em termos de volume de água represada. Localizado no Rio São Francisco, foi formado a partir da construção da Usina Hidrelétrica de Sobradinho, concluída em 1979. Na imagem, destaque para a infraestrutura da barragem, que leva o mesmo nome do lago.

***FIGURE 8.2*** *Lake Sobradinho, the largest artificial lake in Brazil in terms of volume of impounded water. Located on the São Francisco River, it was formed from the construction of the Sobradinho Hydroelectric Power Plant, finished in 1979. The image highlights the dam's infrastructure, which is named after the lake.*

***FIGURA 8.3*** Parque Nacional Marinho dos Abrolhos. Localizado a cerca de 65 quilômetros da costa sul da Bahia, é considerado um verdadeiro berçário de preservação da vida marinha.

***FIGURE 8.3*** *Abrolhos National Marine Park. Located about 65 kilometers off the southern coast of Bahia, it is considered a true nursery for the preservation of marine life.*

FOTO / *PHOTO*: AIBA - AGÊNCIA MARCA STUDIO

***FIGURA 8.4*** Perímetro irrigado por pivô central no oeste baiano. Investimentos em tecnologias empregadas no cultivo garantem uma produtividade acima da média nacional para a região.

***FIGURE 8.4*** *Perimeter irrigated by a central pivot in west Bahia. Investments in technologies employed in agriculture guarantee productivity above the national average for the region.*

## 8.1 CONSTRUÇÃO DO MODELO

No presente estudo, utilizou-se o método de Análise Hierárquica de Processos (AHP) para a concepção do modelo matemático. A AHP é um método de tomada de decisão multicritério, aplicado para determinar os pesos de critérios e prioridades de alternativas de uma maneira estruturada e hierárquica, tendo como base a comparação de pares[12]. Esse método é amplamente utilizado em situações que envolvem seleção, evolução, análise de custo-benefício, atribuições, planejamento, priorização, previsão e uma série de outras aplicações[13]. A Figura 8.5 a seguir ilustra a estrutura genérica de um Modelo AHP, com múltiplos critérios, subcritérios e alternativas distribuídos nos diferentes níveis hierárquicos.

***FIGURA 8.5*** Estrutura hierárquica do Modelo AHP.

***FIGURE 8.5*** *Hierarchical structure of the AHP Model.*

## 8.1 CONSTRUCTION OF THE MODEL

*In the present study, the Analytic Hierarchy Process (AHP) method was used to design the mathematical model. AHP is a multi-criteria decision making method, applied to determine the weights of criteria and priorities of alternatives in a structured and hierarchical manner, based on the comparison of pairs[12]. This method is widely used in situations involving selection, evolution, cost-benefit analysis, assignments, planning, prioritization, forecasting and a number of other applications[13]. Figure 8.5 illustrates the generic structure of an AHP Model, with multiple criteria, sub-criteria and alternatives distributed at the different hierarchical levels.*

### 8.1.1 PREMISES

*A set of general premises was adopted in order to define boundary conditions for the construction of the AHP Model, as follows:*

i. *In this study, Green Hydrogen (GH2) is considered to be that produced from the electrolysis of water, using electricity generated by renewable sources[14]. This process should generate zero or minimal carbon emissions at the production stage;*

ii. *The renewable energy sources considered were wind and solar photovoltaic[15];*

iii. *The wind and solar generation potential were calculated based on the Wind Atlas of Bahia[16] and the Solar Atlas of Bahia[17], respectively;*

iv. *The concept of centralized and decentralized Hubs for GH2 production has been adopted, which allows the implementation of infrastructures with different production capacities according to the objective and the existing demand in the region;*

v. *It is expected that the implementation of the GH2 production chain in specific regions can act as a vector for a low-carbon socio-economic and environmental development.*

*This set of general premises technically supported the stage of defining the criteria and sub-criteria of the AHP Model, presented below.*

### 8.1.1 PREMISSAS

Um conjunto de premissas gerais foi adotado com o objetivo de definir condições de contorno para a construção do Modelo AHP, conforme apresentado a seguir:

i. Nesse estudo, considera-se como Hidrogênio Verde (H2V) aquele produzido a partir da eletrólise da água, utilizando para isso energia elétrica gerada por fontes renováveis[14]. Esse processo deve gerar zero ou mínima emissão de carbono na etapa de produção;

ii. As fontes de energia renovável consideradas foram a eólica e solar fotovoltaica[15];

iii. O potencial de geração eólica e solar foram calculados com base nos Atlas Eólico da Bahia[16] e Atlas Solar da Bahia[17], respectivamente;

iv. Foi adotado o conceito de *Hubs* centralizados e descentralizados para a produção de H2V, o que permite a implantação de infraestruturas com diferentes capacidades produtivas de acordo com o objetivo e a demanda existente na região;

v. Espera-se que a implantação da cadeia produtiva de H2V em regiões específicas possa atuar como um vetor de desenvolvimento socioeconômico e ambiental de baixo carbono.

Esse conjunto de premissas gerais embasou tecnicamente a etapa de definição dos critérios e subcritérios do Modelo AHP, apresentada a seguir.

**TABELA 8.1** Construção do Modelo AHP – Critérios e Subcritérios.

**TABLE 8.1** *AHP Model Construction – Criteria and Sub-criteria.*

| ASPECTOS DE DESENVOLVIMENTO / DEVELOPMENT ASPECTS | | | |
|---|---|---|---|
| **Critérios e Subcritérios** *Criteria and Sub-criteria* | | | **Descrição** *Description* |
| SOCIAL / *SOCIAL* | IFDM | | O índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal (IFDM) indica o nível de desenvolvimento socioeconômico da população em três pilares fundamentais: i. Emprego & Renda; ii. Educação; e iii. Saúde. *The FIRJAN Municipal Development Index (IFDM) indicates the level of socioeconomic development of the population in three fundamental pillars: i. Employment & Income; ii. Education; and iii. Health.* |
| | IVS | | O Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) indica as insuficiências associadas à infraestrutura, capital humano, renda e trabalho. *The Social Vulnerability Index ('IVS') indicates the deficiencies associated with infrastructure, human capital, income and labor.* |
| ECONÔMICO / *ECONOMIC* | IHH | | O Índice de concentração de Hirschman-Herfindahl (IHH) identifica o grau de concentração (Market Share) de um determinado setor produtivo. *The Hirschman-Herfindahl concentration index (IHH) identifies the degree of concentration (market share) of a specific productive sector.* |
| | Força de Trabalho *Workforce* | Formação de mão de obra especializada *Training of qualified workforce* | Quantidade de universidades, faculdades, instituições de ensino técnico e centros de pesquisa com capacidade de formação de mão de obra técnico-científica especializada. *Number (quantity) of universities, colleges, technical education institutions and research centers with the capacity to train specialized technical-scientific workforce.* |
| | | Mercado de trabalho na indústria *Labor market in industry* | Saldo entre admissões e desligamentos na indústria. *Balance of admissions and dismissals in industry.* |

| ASPECTOS AMBIENTAIS / ENVIRONMENT ASPECTS | | |
|---|---|---|
| **Critérios e Subcritérios** *Criteria and Sub-criteria* | | **Descrição** *Description* |
| ÁREAS DE RESTRIÇÃO *RESTRICTION AREAS* | Áreas Protegidas *Protected Areas* | Delimitam espaços cuja atividade industrial é legalmente vetada, exceto em casos previstos em lei. *These areas are legally prohibited from industrial activity, except in cases provided for by law.* |
| | Áreas Restritas *Restricted Areas* | Delimitam espaços cuja atividade industrial é incompatível e\ou não permitida por conflitos de interesse e\ou aspectos legais associados. *These areas are delimited by industrial activity that is incompatible and/or not allowed due to conflicts of interest or associated legal aspects.* |
| POTENCIAL DE OCORRÊNCIA *POTENTIAL FOR OCCURRENCE* | Uso e Ocupação do solo *Land Use and Occupation* | Delimitam espaços previamente ocupados, áreas com uso e\ou coberturas consolidadas ou com nível de dificuldade de remanejo, a exemplo de espaços urbanos, corpos d'água e atividades de mineração. *These delimit previously occupied spaces, areas with use and / or consolidated coverages or with a level of difficulty in relocation, such as urban spaces, water bodies and mining activities.* |
| | Cavidades Naturais *Natural Cavities* | Existência de cavernas, dolinas e sumidouros. Além da necessidade de preservação de acordo a legislação, estes espaços apresentam restrições estruturais. *Existence of caves, dolines and sinkholes. In addition to the need for preservation according to legislation, these spaces have structural restrictions.* |
| | Sítios Arqueológicos *Archaeological Sites* | Existência de vestígios resultantes de atividades humanas, do período pré-colonial ou histórico, passível de contextualização arqueológica pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). *Existence of vestiges resulting from human activities, from the pre-colonial or historical period, subject to archaeological contextualization, including listing by the National Historical and Artistic Heritage Institute (IPHAN).* |

## 8.1.2 CRITÉRIOS, SUBCRITÉRIOS E HIERARQUIA

Para a construção do Modelo AHP foram definidos 28 indicadores (subcritérios) em diferentes níveis hierárquicos, agrupados em quatro grandes segmentos (critérios), conforme evidenciado na Tabela 8.1. Em seguida, e com base nos critérios e subcritérios definidos, a Árvore Hierárquica do Modelo AHP (Figura 8.6) foi desenvolvida.

Em sua grande maioria, os dados utilizados nos cálculos dos indicadores e, consequentemente, na construção do Modelo AHP, foram de domínio público, acessados a partir de repositórios governamentais, ou cedidos diretamente pela Secretaria do Meio Ambiente – SEMA (dados relativos às Áreas de Proteção do estado), Secretaria de Infraestrutura – SEINFRA (dados relativos ao Sistema Elétrico, Linhas de Transmissão e Distribuição do estado) e Secretaria de Desenvolvimento Econômico da Bahia – SDE (dados socioeconômicos do estado).

O método de cálculo (equações) de cada um dos subcritérios e o conjunto de dados de entrada do Modelo AHP são apresentados, respectivamente, nos Apêndices A e B.

### 8.1.2 CRITERIA, SUB-CRITERIA AND HIERARCHY

*To build the AHP Model, 28 indicators ("sub-criteria") were defined at different hierarchical levels, grouped into four major segments ("criteria"), as shown in Table 8.1. Then, and based on the defined criteria and sub-criteria, the Hierarchical Tree of the AHP Model (Figure 8.6) was developed.*

*Most of the data used in the calculation of the indicators and, consequently, in the construction of the AHP Model, were in the public domain, accessed from government repositories, or provided directly by the Environment Secretariat - SEMA (data related to the state's Protected Areas), Infrastructure Secretariat - SEINFRA (data related to the state's Electric System, Transmission and Distribution Lines) and the Economic Development Secretariat of Bahia - SDE (socioeconomic data of the state).*

*The calculation method (equations) of each of the sub-criteria and the input data set of the AHP Model are presented respectively in Appendices A and B.*

**DISPONIBILIDADE DE INFRAESTRUTURA**
INFRASTRUCTURE AVAILABILITY

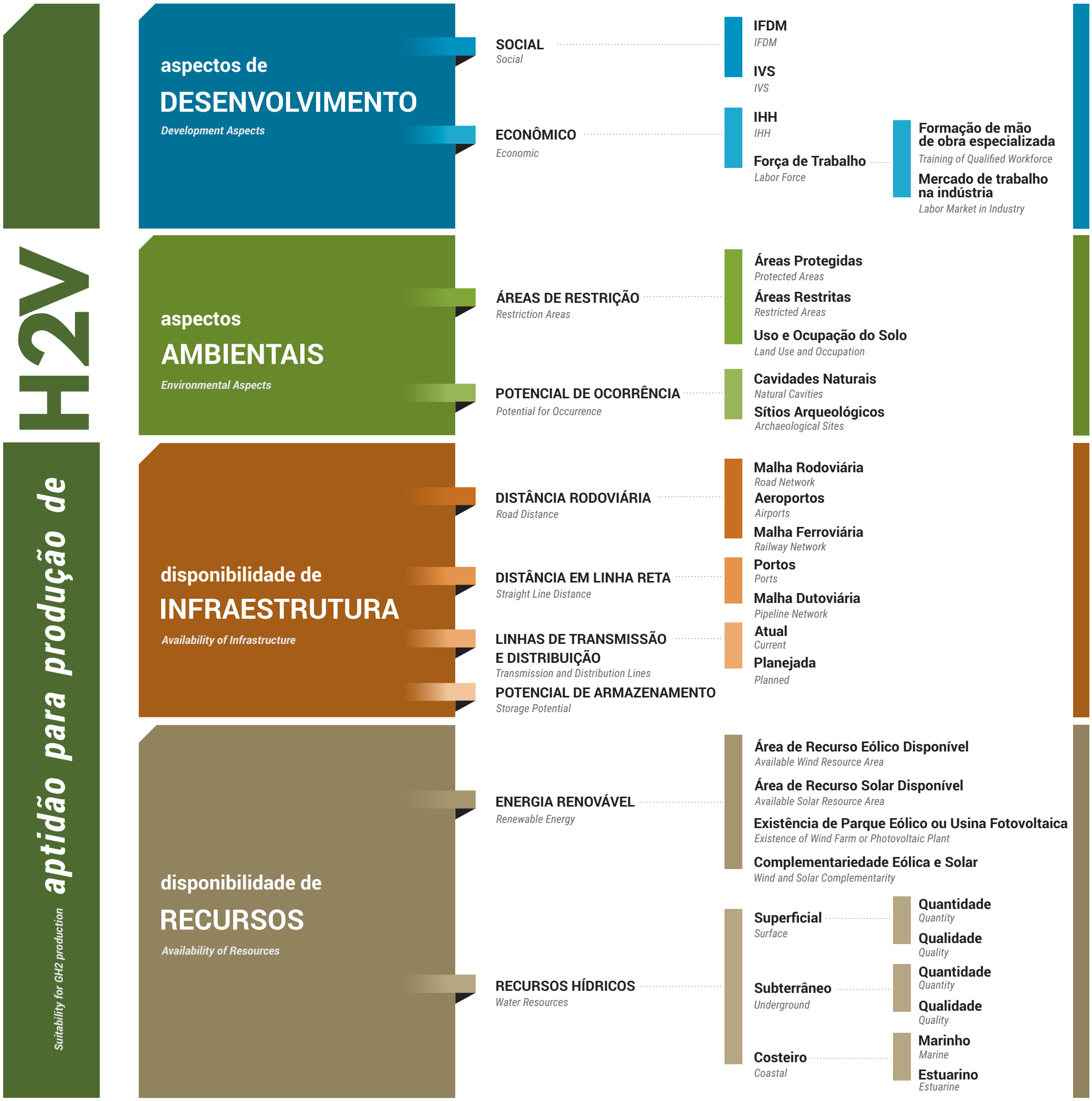
| Critérios e Subcritérios<br>*Criteria and Sub-criteria* | | Descrição<br>*Description* |
|---|---|---|
| DISTÂNCIA RODOVIÁRIA *ROAD DISTANCE* | Malha Rodoviária<br>*Road Network* | Indicador de proximidade entre as principais rodovias existentes no Território de Identidade e o seu principal município.<br>*Indicator of the closeness between the main roads in the Territory of Identity and its main city.* |
| | Aeroportos<br>*Airports* | Indicador de proximidade entre os aeroportos existentes e o principal município do Território de Identidade.<br>*Indicator of closeness between the existing airports and the main city of the Territory of Identity.* |
| | Malha Ferroviária<br>*Railroad Network* | Indicador de proximidade entre as ferrovias existentes e o principal município do Território de Identidade.<br>*Indicator of closeness between the existing railroads and the main city of the Territory of Identity.* |
| DISTÂNCIA EM LINHA RETA *STRAIGHT LINE DISTANCE* | Portos<br>*Ports* | Indicador de proximidade entre os portos existentes e o principal município do Território de Identidade.<br>*Indicator of closeness between the existing ports and the main municipality of the Territory of Identity.* |
| | Malha Dutoviária<br>*Pipeline Network* | Indicador de proximidade entre os gasodutos existentes e o principal município do Território de Identidade.<br>*Indicator of closeness between existing pipelines and the main city of the Territory of Identity.* |
| LINHAS DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO *TRANSMISSION AND DISTRIBUTION NETWORK* | Densidade Instalada<br>*Installed Density* | Relação entre a extensão das linhas de transmissão e distribuição existentes no Território de Identidade e sua área territorial.<br>*Ratio between the length of existing transmission and distribution lines in the Territory of Identity and its territorial area.* |
| | Densidade Planejada<br>*Planned Density* | Relação entre a extensão das linhas de transmissão e distribuição planejadas no Território de Identidade e sua área territorial.<br>*Ratio between the length of planned transmission and distribution lines in the Territory of Identity and its territorial area.* |
| POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO *STORAGE POTENTIAL* | - | Existência de infraestrutura atual para compressão e armazenagem de H2 no Território de Identidade.<br>*Existence of current infrastructure for H2 compression and storage in the Territory of Identity.* |

**DISPONIBILIDADE DE RECURSOS**
*AVAILABILITY OF RESOURCES*

| Critérios e Subcritérios<br>*Criteria and Sub-criteria* | | | Descrição<br>*Description* |
|---|---|---|---|
| ENERGIA RENOVÁVEL / *RENEWABLE ENERGY* | Área de Recurso Eólico Disponível<br>*Available Wind Resource Area* | | Áreas com velocidades de vento ≥ 7,0 m.s-1 a 150 m de altura.<br>*Areas with wind speeds ≥ 7.0 m.s-1 at 150 m height.* |
| | Área de Recurso Solar Disponível<br>*Available Solar Resource Area* | | Área com recurso solar disponível considerando toda a faixa de GHI do estado da Bahia.<br>*Area with available solar resource considering the entire GHI range of Bahia State.* |
| | Existência de Parque Eólico ou Usina Fotovoltaica<br>*Existence of wind farm or photovoltaic plant* | | Existência de Parque Eólico ou Usina Fotovoltaica (instalados/outorgados).<br>*Existence of Wind Farm or Photovoltaic Plant (installed/granted).* |
| | Complementariedade Eólica e Solar<br>*Wind and Solar Complementarity* | | Áreas com velocidades de vento ≥ 7,0 m/s (150 m) e recurso solar disponível considerando toda a faixa de GHI do estado da Bahia.<br>*Areas with wind speeds ≥ 7.0 m/s (150 m) and available solar resource considering the entire GHI range of Bahia State.* |
| RECURSOS HÍDRICOS / *WATER RESOURCES* | Superficial<br>*Surface Water* | Quantidade<br>*Quantity* | Disponibilidade de recursos hídricos superficiais.<br>*Availability of surface water resources.* |
| | | Qualidade<br>*Quality* | Índice de Qualidade das Águas (IQA).<br>*Water Quality Index (IQA).* |
| | Subterrâneo<br>*Groundwater* | Quantidade<br>*Quantity* | Potencialidade hídrica subterrânea das regiões aquíferas.<br>*Groundwater potential of aquifer regions.* |
| | | Qualidade<br>*Quality* | Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS).<br>*Groundwater Natural Quality Index (IQNAS).* |
| | Costeiro<br>*Coastal Water* | Marinho<br>*Marine* | Possibilidade de captação de águas costeiras marinhas e estuarinas, delimitada pelos Territórios de Identidade que fazem fronteira direta com a zona litorânea, baía ou estuário.<br>*Possibility of capturing coastal marine and estuarine waters, delimited by the Territories of Identity that directly border the coastal zone, bay or estuary.* |
| | | Estuarino<br>*Estuarine* | |

*FIGURA 8.6* Construção do Modelo AHP – Árvore Hierárquica.

*FIGURE 8.6* *Building the AHP Model – Hierarchy Tree.*

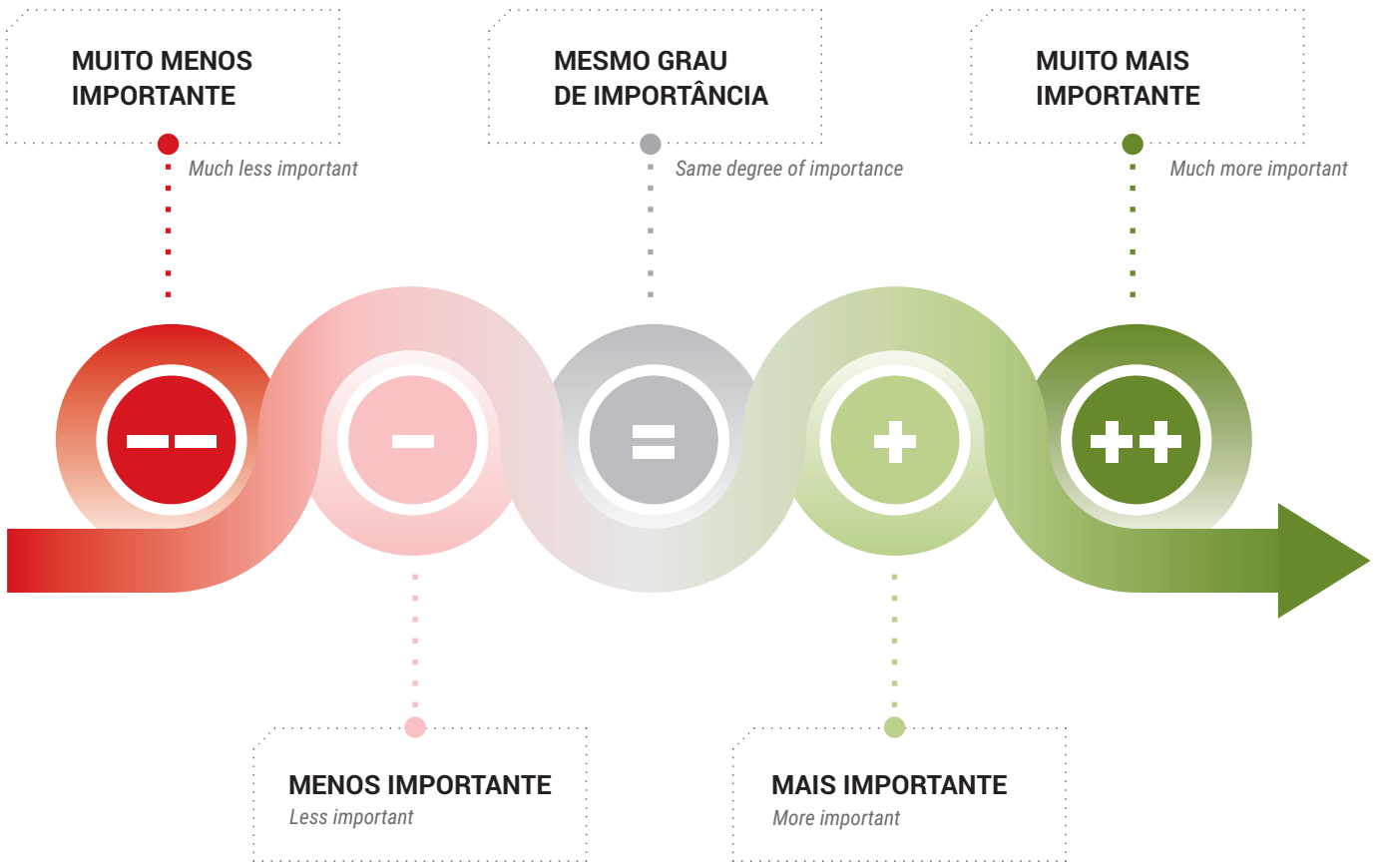


## 8.1.3 ANÁLISE DE IMPACTO

O Modelo AHP foi ponderado a partir do grau de influência exercida pelos critérios e subcritérios entre si, tendo como base a análise comparativa da relevância desses indicadores na cadeia produtiva do H2V. O método adotado para a realização das dinâmicas com os especialistas foi o *Quantity, Quality and Systematic Management* (QQS)[18], a partir do qual foram conduzidas as comparações pareadas em um mesmo nível hierárquico. Para tal análise, a escala adotada contemplou cinco graus de influência exercida entre os indicadores, conforme ilustra a Figura 8.7. Inconsistências nas comparações pareadas foram avaliadas em tempo real durante a aplicação do QQS de modo a garantir a confiabilidade final do resultado da Análise de Impacto.

*FIGURA 8.7* Escala de grau de influência utilizada durante a comparação pareada dos critérios e subcritérios.

*FIGURE 8.7* *Scale of degree of influence used during the paired comparison of criteria and sub-criteria.*




Gestores e especialistas do SENAI CIMATEC e Governo do Estado da Bahia, em diversas áreas de atuação, estiveram envolvidos nesta etapa de construção do Modelo AHP. Na oportunidade, foram realizados dois *workshops* presenciais para analisar o impacto da influência exercida pelos critérios e subcritérios do Modelo na cadeia produtiva do H2V do estado.

O Gráfico 8.1 ilustra os pesos relativos calculados para os 28 subcritérios, agrupados em quatro critérios, definidos durante a construção do Modelo AHP. Nesse aspecto, os sete primeiros subcritérios representaram aproximadamente 52,2% do peso total do Modelo, com destaque para "Complementariedade Eólica e Solar" (11,9%), "Densidade de Linhas de Transmissão & Distribuição Instaladas" (8,9%), além de alguns subcritérios relacionados a restrições ambientais (e.g., "Cavidades naturais", "Sítios arqueológicos" e "Áreas protegidas"). No que diz respeito aos quatro critérios de agrupamento, por ordem de maior para menor peso calculado, obteve-se o seguinte: "Disponibilidade de Recursos" (38,3%), "Aspectos Ambientais" (28,0%), "Disponibilidade de Infraestrutura" (19,1%) e "Aspectos de Desenvolvimento" (14,5%).

É importante destacar que todos os critérios e subcritérios incorporados no Modelo AHP são relevantes para a cadeia produtiva do Hidrogênio Verde na Bahia, independentemente dos pesos calculados durante as análises. Os resultados obtidos nessa etapa de ponderação apenas definem, de forma comparativa, o grau de importância desses indicadores entre si, levando em consideração não somente as percepções técnicas especializadas, mas também as estratégias e políticas públicas atuantes no estado.

## 8.1.3 ANALYSIS OF IMPACT

*The AHP model was weighted based on the degree of influence exerted by the criteria and sub-criteria among themselves, based on the comparative analysis of the relevance of these indicators in the GH2 production chain. The method adopted to carry out the dynamics with the experts was Quantity, Quality and Systematic Management (QQS).[18], from which paired comparisons were conducted at the same hierarchical level. For this analysis, the scale adopted included five degrees of influence exerted between the indicators, as illustrated in Figure 8.7. Inconsistencies in the paired comparisons were assessed in real time during the application of the QQS in order to ensure the final reliability of the Impact Analysis result..*

*Managers and specialists from SENAI CIMATEC and the Government of Bahia State, in various areas of activity, were involved in this stage of construction of the AHP Model. On the occasion, two on-site workshops were held to analyze the impact of the influence exerted by the criteria and sub-criteria of the Model on GH2 production chain in the State.*

*Chart 8.1 illustrates the relative weights calculated for the 28 sub-criteria, grouped into four criteria, defined during the construction of the AHP Model. In this respect, the first seven sub-criteria accounted for approximately 52.2% of the total weight of the Model, with emphasis on "Wind and Solar Complementarity" (11.9%), "Density of Transmission & Distribution Lines Installed" (8.9%), as well as some sub-criteria related to environmental constraints. (e.g., "Natural cavities", "Archaeological sites" and "Protected areas"). With regard to the four criteria grouping, from highest to lowest calculated weight, the following was obtained: "Availability of Resources" (38.3%), "Environmental Aspects" (28.0%), "Availability of Infrastructure" (19.1%) and "Development Aspects" (14.5%).*

*It is important to highlight that all criteria and sub-criteria incorporated in the AHP Model are relevant to the Green Hydrogen production chain in Bahia, regardless of the weights calculated during the analysis. The results obtained in this weighting stage only define, in a comparative way, the degree of importance of these indicators among themselves, taking into account not only the specialized technical perceptions, but also the strategies and public policies active in the State.*

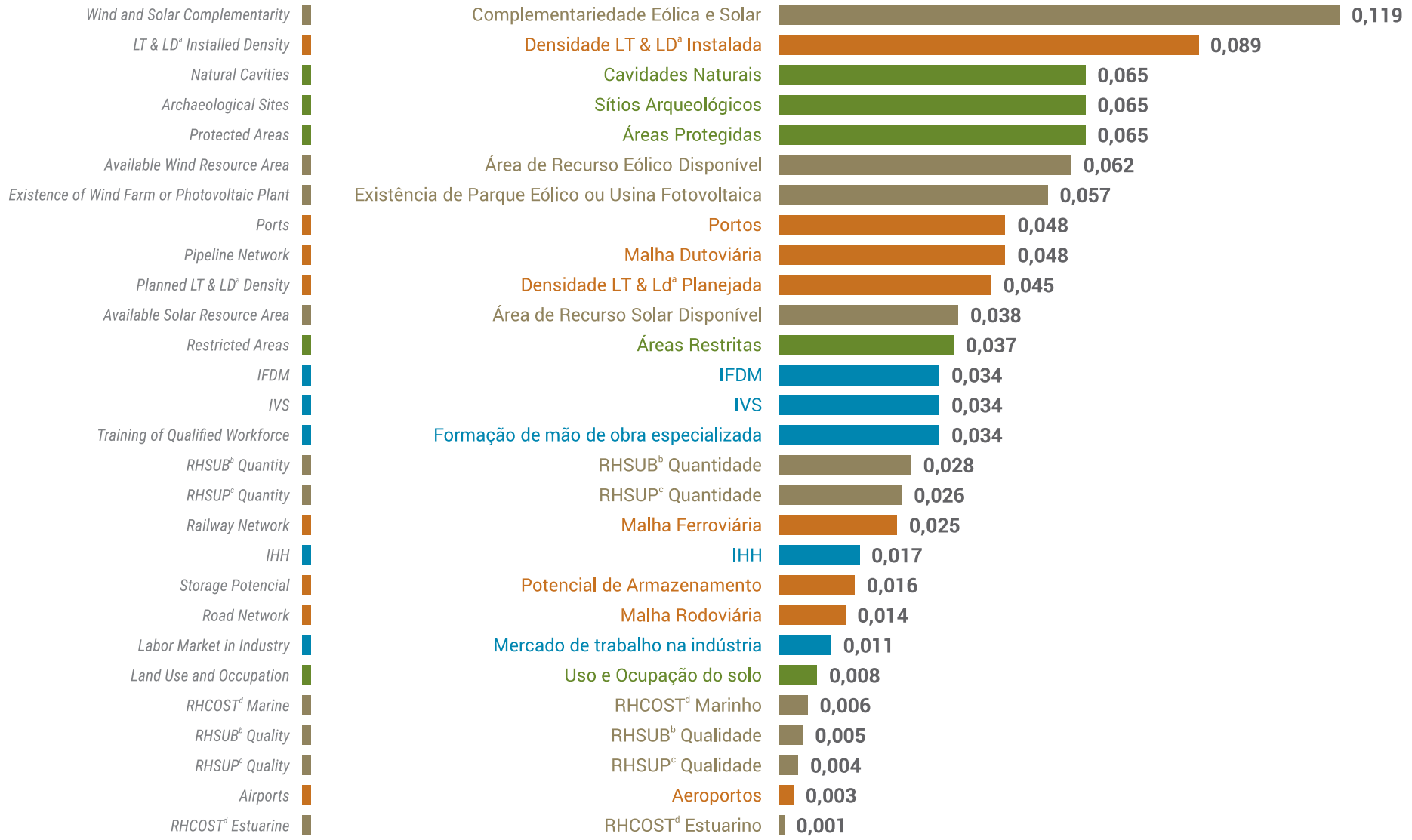
***GRÁFICO 8.1*** Modelo AHP – Pesos relativos.

***CHART 8.1*** *AHP Model – Relative weights.*

*m o d e l o* ***A H P*** »

## *pesos relativos entre os 28 subcritérios adotados*

*AHP Model: Relative weights for the 28 sub-criteria adopted*




*m o d e l o* ***A H P*** »

## *pesos relativos entre os 04 critérios adotados*

*AHP Model: Relative weights for the 04 criteria adopted*

OS PESOS SOMADOS TOTALIZAM 1, OU 100% / *THE WEIGHTS TOGETHER SUM TOTAL 1, OR 100%.* ª LINHAS DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO / *ª TRANSMISSION AND DISTRIBUTION LINES.* ᵇ RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS / *ᵇ GROUNDWATER RESOURCES.* ᶜ RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS / *ᶜ SURFACE WATER RESOURCES.* ᵈ RECURSOS HÍDRICOS COSTEIROS / *ᵈ COASTAL WATER RESOURCES.*

## 8.1.4 CENÁRIOS

Adicionalmente ao cenário geral do Modelo AHP, que contempla todos os 28 subcritérios agrupados em quatro critérios, e aos cenários por critério de agrupamento, foram propostos oito diferentes cenários hipotéticos a partir da combinação de três condições específicas, conforme descrito a seguir:

- **Condição 1 – Energia renovável *off-grid* ou *on-grid***
  - *Off-grid*: a unidade de produção de H2V opera diretamente interligada a um sistema de geração de energia renovável;
  - *On-grid*: a unidade de produção de H2V está conectada à rede elétrica nacional (Sistema Interligado Nacional – SIN) e utiliza certificados de energia renovável para assegurar que o hidrogênio produzido seja classificado como verde.
- **Condição 2 – Consumo do H2V local ou externo**
  - *Local*: o consumo do H2V é local, ocorrendo nas proximidades da unidade de produção;
  - *Externo*: o consumo de H2V requer transporte por longas distâncias, e depende da infraestrutura logística de transporte existente.
- **Condição 3 – Disponibilidade de Recursos Hídricos**
  - *Relevante*: a disponibilidade de água pode ser um recurso limitante para produção de H2V em determinadas regiões e, por isso, tem relevância significativa na análise;
  - *Irrelevante*: a água é um recurso abundante no estado e não representa um fator limitante para produção de H2V, tornando-se pouco relevante para a análise.

A Tabela 8.2 define todas as combinações possíveis entre as condições adotadas, fornecendo os limites de cada cenário. Tais cenários hipotéticos representam recortes do cenário geral proposto para o Modelo AHP e permitem análises específicas dentro de um amplo espectro de possibilidades para o desenvolvimento da economia do Hidrogênio Verde. A configuração dos subcritérios adotados em cada um dos cenários hipotéticos pode ser verificada no Apêndice C.

*TABELA 8.2* Modelo AHP – Cenários Hipotéticos.

*TABLE 8.2* *AHP Model – Hypothetical Scenarios.*

| CENÁRIO *SCENARIO* | CONDIÇÃO 1 *CONDITION 1* | CONDIÇÃO 2 *CONDITION 2* | CONDIÇÃO 3 *CONDITION 3* |
|---|---|---|---|
| 1 | Off-grid | Consumo local *Local Consumption* | $H_2O$ - Recurso limitante *$H_2O$ - Limiting Resource* |
| 2 | Off-grid | Consumo externo *External Consumption* | $H_2O$ - Recurso limitante *$H_2O$ - Limiting Resource* |
| 3 | On-grid | Consumo local *Local Consumption* | $H_2O$ - Recurso limitante *$H_2O$ - Limiting Resource* |
| 4 | On-grid | Consumo externo *External Consumption* | $H_2O$ - Recurso limitante *$H_2O$ - Limiting Resource* |
| 5 | Off-grid | Consumo local *Local Consumption* | $H_2O$ - Recurso abundante *$H_2O$ - Abundant Resource* |
| 6 | Off-grid | Consumo externo *External Consumption* | $H_2O$ - Recurso abundante *$H_2O$ - Abundant Resource* |
| 7 | On-grid | Consumo local *Local Consumption* | $H_2O$ - Recurso abundante *$H_2O$ - Abundant Resource* |
| 8 | On-grid | Consumo externo *External Consumption* | $H_2O$ - Recurso abundante *$H_2O$ - Abundant Resource* |

### *8.1.4 SCENARIOS*

*In addition to the general scenario of the AHP Model, which includes all 28 sub-criteria grouped into four criteria, and to the scenarios per grouping criteria, eight different hypothetical scenarios were proposed from the combination of three specific conditions, as described below:*

- ***Condition 1 - Off-grid or on-grid renewable energy***
  - *Off-grid: the GH2 production plant operates directly linked to a renewable energy generation system;*
  - *On-grid: the GH2 production plant is connected to the national electricity grid (National Interconnected System - SIN) and uses renewable energy certificates to ensure that the hydrogen produced is classified as green..*
- ***Condition 2 - Consumption of local or external GH2***
  - *Local: GH2 consumption is local, occurring in the surroundings of the production unit;*
  - *External: GH2 consumption requires transportation over long distances, and depends on the existing transportation logistics infrastructure.*
- ***Condition 3 - Water Resources Availability***
  - *Relevant: water availability can be a limiting resource for GH2 production in certain regions, and therefore has significant relevance in the analysis;*
  - *Irrelevant: water is an abundant resource in the state and does not represent a limiting factor for GH2 production, making it of little relevance to the analysis.*

*Table 8.2 defines all possible combinations of the adopted conditions, providing the boundaries of each scenario. These hypothetical scenarios represent cuttings of the general scenario proposed for the AHP Model, and allow specific analysis within a wide spectrum of possibilities for the development of the Green Hydrogen economy. The configuration of the sub-criteria adopted in each of the hypothetical scenarios can be verified in Appendix C.*

### 8.1.5 ALTERNATIVES

*In this study, the alternatives of the AHP Model are represented by the 27 Territories of Identity of Bahia State (see Figure 1.2 in Chapter 1), ranked according to their suitability for GH2 production.*

*The division of Bahia into Territories of Identity is a strategy for planning and implementing public policies in various dimensions. This approach recognizes the importance of decentralization and the participation of local agents in its development. The Government of Bahia adopts these territorial units to promote balanced and sustainable development among regions, taking into account thematic priorities defined by local reality, including environmental, economic and cultural criteria, as well as the identification of distinct social groups that contribute to social, cultural and territorial cohesion.[19].*

## 8.2 SUITABILITY FOR GH2

### 8.2.1 RESULTS OF THE MODEL

*Taking into account the 27 Territories of Identity of the state, the mapping of the indicators inserted in the AHP Model pointed out the diversity of characteristics (geographical, environmental, historical, social, cultural and economic) present throughout the Bahian territory. This heterogeneity allows for different approaches to the development of the GH2 economy in Bahia, especially adapted to the particularities of each region. In this context, Map 8.1 displays the eight hypothetical scenarios that indicate the suitability for GH2 production, based on the combination of specific conditions that represent different possible strategies for the development of the GH2 economy in Bahia.*

*Map 8.2 displays an individualized perception for each of the four grouping criteria adopted in the General AHP Model.*

*The analysis of the criteria "Availability of Resources" highlights the mesoregions Vale São Francisco, north-central and south-central of the state, mainly driven by the sub-criteria "Wind & Solar Complementarity" (Map 8.2). These regions have the best levels of annual Global Horizontal Irradiance (GHI) above 2,200 kWh.m-2 and also the highest average wind speeds (see Map 6.6 in Chapter 6), evidenced by the growing number of renewable energy developments operating and planned in these areas.*

*Regarding the grouping criteria "Development Aspects", the Metropolitan Region of Salvador stands out, presenting the highest rates of socioeconomic development in the state. This region is home to a significant portion of Bahia's services, commerce and industry sectors, being the latter highly energy intensive and potentially demanding Green Hydrogen in various processes and applications. In addition, it is the most urbanized area of the state (Map 8.2), characterized by the presence of dense concentrations of population.*

*Regarding the "Environmental Aspects" criteria, the southwestern region of Bahia and the region surrounding the "Recôncavo Baiano" (Map 8.2) are particularly noteworthy. The presence of reduced proportions of areas of environmental restriction (see Map 6.1 in Chapter 6) and the low probability of occurrences of natural cavities and archaeological sites in these regions are favorable factors for the implementation of new enterprises for the production of Green Hydrogen.*

*With regard to the "Availability of Infrastructure" criteria, the "Sertão Produtivo" region (Productive Desert) deserves to be mentioned, due to the high density of installed and planned transmission and distribution lines, and again the Metropolitan Region of Salvador, which in the context of available infrastructure takes advantage of the proximity to the port complex of Baía de Todos-os-Santos, the existence of specialized facilities and equipment for compression and flow of natural gas and the presence of a pipeline network with several distribution points for the entire state. Both regions also have convenient access to railroads and major airports in the state, the former being especially relevant for the Green Hydrogen production chain if properly used.*

*Table 8.2 presents the results obtained from the general scenario of the AHP Model, considering all 28 indicators at their various hierarchical levels. Map 8.3 displays the comparative suitability of the 27 Territories of Identity of Bahia State for GH2 production. According to this scenario, the best ranked Territory of Identity (TI) was the Bacia do Rio Grande. The TIs Sertão do São Francisco, Sertão Produtivo, Bacia do Rio Corrente and Sudoeste Baiano also stood out, occupying the 2nd, 3rd, 4th and 5th positions in the ranking, respectively. Considering its importance to the state, the Metropolitan Region of Salvador was ranked 6th in the ranking provided by the Model. The complete ranking of the TIs in terms of comparative suitability for Green Hydrogen production considering the overall scenario of the AHP Model can be consulted in Table 8.3.*

*Regarding the localization of the results obtained from the general scenario of the AHP Model, a preferential arrangement of the best-ranked TIs was observed mainly in the western, north-central and southwestern regions of Bahia State (see Map 8.3), with the exception of the Metropolitan Region of Salvador, which is located in the eastern part of the state.*

### 8.1.5 ALTERNATIVAS

Neste estudo, as alternativas do Modelo AHP estão representadas pelos 27 Territórios de Identidade do estado da Bahia (ver Figura 1.2 no Capítulo 1), ranqueados de acordo com sua aptidão para a produção de H2V.

A divisão da Bahia em Territórios de Identidade é uma estratégia para planejamento e implementação de políticas públicas em várias dimensões. Essa abordagem reconhece a importância da descentralização e da participação dos agentes locais no desenvolvimento. O Governo da Bahia adota essas unidades territoriais para promover um desenvolvimento equilibrado e sustentável entre as regiões, levando em consideração prioridades temáticas definidas pela realidade local, incluindo critérios ambientais, econômicos e culturais, bem como a identificação de grupos sociais distintos que contribuem para a coesão social, cultural e territorial[19].

## 8.2 APTIDÃO PARA O H2V

### 8.2.1 RESULTADOS DO MODELO

Levando em consideração os 27 Territórios de Identidade do estado, o mapeamento dos indicadores inseridos no Modelo AHP destacou a diversidade de características (geográficas, ambientais, históricas, sociais, culturais e econômicas) presentes em todo o território baiano. Essa heterogeneidade permite diferentes abordagens para o desenvolvimento da economia do H2V na Bahia, especialmente adaptadas às particularidades de cada região. Nesse contexto, o Mapa 8.1 exibe os oito cenários hipotéticos que indicam a aptidão para a produção de H2V, partindo da combinação de condições específicas que representam diferentes estratégias possíveis para o desenvolvimento da economia do H2V na Bahia.

Já o Mapa 8.2 exibe uma percepção individualizada para cada um dos quatro critérios de agrupamento adotados no Modelo AHP Geral.

A análise do critério "Disponibilidade de Recursos" destaca as mesorregiões Vale São Francisco, centro-norte e centro-sul do estado, puxadas principalmente pelo subcritério "Complementariedade Eólica & Solar" (Mapa 8.2). Nessas regiões concentram-se os melhores níveis de Irradiação Global Horizontal Anual (GHI, do inglês *Global Horizontal Irradiance*) superiores a 2.200 $kWh.m^{-2}$ e, também, as maiores médias de velocidades de vento (ver Mapa 6.6 no Capítulo 6), evidenciado pelo número crescente de empreendimentos de energia renovável operando e planejados nessas áreas.

Em relação ao critério de agrupamento "Aspectos de Desenvolvimento", a Região Metropolitana de Salvador se destaca, apresentando os maiores índices de desenvolvimento socioeconômico no estado (Mapa 8.2). Essa região abriga uma significativa parcela dos setores de serviços, comércio e indústria da Bahia, sendo este último altamente intensivo em energia e potencialmente demandante de Hidrogênio Verde em diversos processos e aplicações. Além disso, é a área mais urbanizada do estado, caracterizada pela presença de densas concentrações populacionais.

Sobre o critério "Aspectos Ambientais", é notável o destaque do sudoeste baiano e da região que circunda o recôncavo do estado (Mapa 8.2). A presença de proporções reduzidas de áreas de restrição ambiental (ver Mapa 6.1 no Capítulo 6) e a baixa probabilidade de ocorrências de cavidades naturais e sítios arqueológicos nessas regiões são fatores favoráveis à implantação de novos empreendimentos para a produção de Hidrogênio Verde.

No que diz respeito ao critério "Disponibilidade de Infraestrutura", merecem destaque a região do Sertão Produtivo, devido à alta densidade de linhas de transmissão e distribuição instaladas e planejadas, e novamente a Região Metropolitana de Salvador, que no contexto de infraestrutura disponível se beneficia da proximidade com o complexo portuário da Baía de Todos-os-Santos, da existência de instalações e equipamentos especializados para compressão e escoamento de gás natural e da presença de uma malha dutoviária com vários pontos de distribuição para todo o estado (Mapa 8.2). Ambas as regiões também possuem acesso conveniente a ferrovias e aeroportos de grande porte no estado, sendo o primeiro especialmente relevante para a cadeia produtiva do Hidrogênio Verde se utilizado adequadamente.

A Tabela 8.2 apresenta os resultados obtidos a partir do cenário geral do Modelo AHP, considerando todos os 28 indicadores em seus diversos níveis hierárquicos. O Mapa 8.3 exibe a aptidão comparativa dos 27 Territórios de Identidade do estado da Bahia para a produção de H2V. De acordo com esse cenário, o Território de Identidade (TI) mais bem classificado foi a Bacia do Rio Grande. Os TIs Sertão do São Francisco, Sertão Produtivo, Bacia do Rio Corrente e Sudoeste Baiano também se destacaram, ocupando as posições 2ª, 3ª, 4ª e 5ª no *ranking*, respectivamente. Considerando sua importância estadual, a Região Metropolitana de Salvador ficou em 6º lugar no *ranking* fornecido pelo Modelo. A classificação completa dos TIs em termos de aptidão comparativa para a produção de Hidrogênio Verde, considerando o cenário geral do Modelo AHP, pode ser consultada na Tabela 8.3.

No que diz respeito à espacialização dos resultados obtidos a partir do cenário geral do Modelo AHP, foi observada uma disposição preferencial dos TIs mais bem ranqueados principalmente nas regiões oeste, centro-norte e sudoeste do estado da Bahia (ver Mapa 8.3), com exceção da Região Metropolitana de Salvador, que está localizada na parte mais a leste do estado.

| POSIÇÃO *POSITION* | TERRITÓRIO DE IDENTIDADE *TERRITORY OF IDENTITY* | RANKING DO MODELO *RANKING IN THE MODEL* | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Escala original[a] *Original Scale[a]* | Reescalonado[b] *Rescaled[b]* | Escala gráfica *Graphic Scale* |
| 1º | Bacia do Rio Grande | 6,01 | 10,00 | |
| 2º | Sertão do São Francisco | 5,77 | 9,18 | |
| 3º | Sertão Produtivo | 5,46 | 8,18 | |
| 4º | Bacia do Rio Corrente | 5,45 | 8,16 | |
| 5º | Sudoeste Baiano | 5,36 | 7,83 | |
| 6º | Metropolitano de Salvador | 5,16 | 7,20 | |
| 7º | Litoral Norte e Agreste Baiano | 4,80 | 6,01 | |
| 8º | Portal do Sertão | 4,76 | 5,87 | |
| 9º | Médio Sudoeste da Bahia | 4,76 | 5,86 | |
| 10º | Irecê | 4,58 | 5,27 | |
| 11º | Piemonte do Paraguaçu | 4,55 | 5,19 | |
| 12º | Velho Chico | 4,47 | 4,91 | |
| 13º | Sisal | 4,44 | 4,80 | |
| 14º | Piemonte Norte do Itapicuru | 4,34 | 4,46 | |
| 15º | Bacia do Paramirim | 4,24 | 4,16 | |
| 16º | Vale do Jiquiriçá | 4,23 | 4,11 | |
| 17º | Bacia do Jacuípe | 4,21 | 4,06 | |
| 18º | Extremo Sul | 4,03 | 3,45 | |
| 19º | Piemonte da Diamantina | 3,98 | 3,31 | |
| 20º | Semiárido Nordeste II | 3,92 | 3,08 | |
| 21º | Recôncavo | 3,79 | 2,67 | |
| 22º | Chapada Diamantina | 3,79 | 2,65 | |
| 23º | Costa do Descobrimento | 3,70 | 2,36 | |
| 24º | Itaparica | 3,68 | 2,32 | |
| 25º | Médio Rio de Contas | 3,43 | 1,47 | |
| 26º | Litoral Sul | 3,37 | 1,30 | |
| 27º | Baixo Sul | 2,98 | 0,00 | |

***TABELA 8.3*** Resultado do Modelo AHP – Cenário Geral, indicando de forma comparativa e ranqueada a aptidão dos 27 Territórios de Identidade do estado da Bahia para a produção de H2V.

***TABLE 8.3*** *Result of the AHP Model - General Scenario, indicating in a comparative and ranked way the suitability of the 27 Territories of Identity of Bahia State for GH2 production.*

[a] DADOS DE SAÍDA DO MODELO AHP / *[a] OUTPUT DATA FROM THE AHP MODEL.*

[b] REESCALONAMENTO PARA UMA ESCALA DE FÁCIL INTERPRETAÇÃO (0 A 10). VALORES PRÓXIMOS E/OU IGUAIS A ZERO NÃO DEVEM SER INTERPRETADOS COMO "SEM POTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE H2V". ESSES VALORES INDICAM APENAS QUE UM DETERMINADO TERRITÓRIO DE IDENTIDADE POSSUI CARACTERÍSTICAS (AMBIENTAIS, SOCIAIS, DISPONIBILIDADE DE RECURSOS E INFRAESTRUTURA) MENOS FAVORECIDAS EM COMPARAÇÃO COM OUTROS, LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO OS CRITÉRIOS, SUBCRITÉRIOS E PESOS ADOTADOS NA CONSTRUÇÃO DO MODELO AHP / *[b] RE-SCALING TO AN EASILY INTERPRETABLE SCALE (0 TO 10). VALUES CLOSE AND/OR EQUAL TO ZERO SHOULD NOT BE INTERPRETED AS "NO POTENTIAL FOR GH2 PRODUCTION". THESE VALUES ONLY INDICATE THAT A GIVEN TERRITORY OF IDENTITY HAS LESS FAVORED CHARACTERISTICS (ENVIRONMENTAL, SOCIAL, AVAILABILITY OF RESOURCES AND INFRASTRUCTURE) COMPARED TO OTHERS, TAKING INTO ACCOUNT THE CRITERIA, SUB-CRITERIA AND WEIGHTS ADOPTED IN THE CONSTRUCTION OF THE AHP MODEL.*

MAPA/MAP 8.1

# Aptidão para produção de H2V | CENÁRIOS HIPOTÉTICOS

*SUITABILITY FOR GH2 PRODUCTION - HYPOTHETICAL SCENARIOS*

Posição no ranking do Modelo AHP
*Position in the AHP Model Ranking*

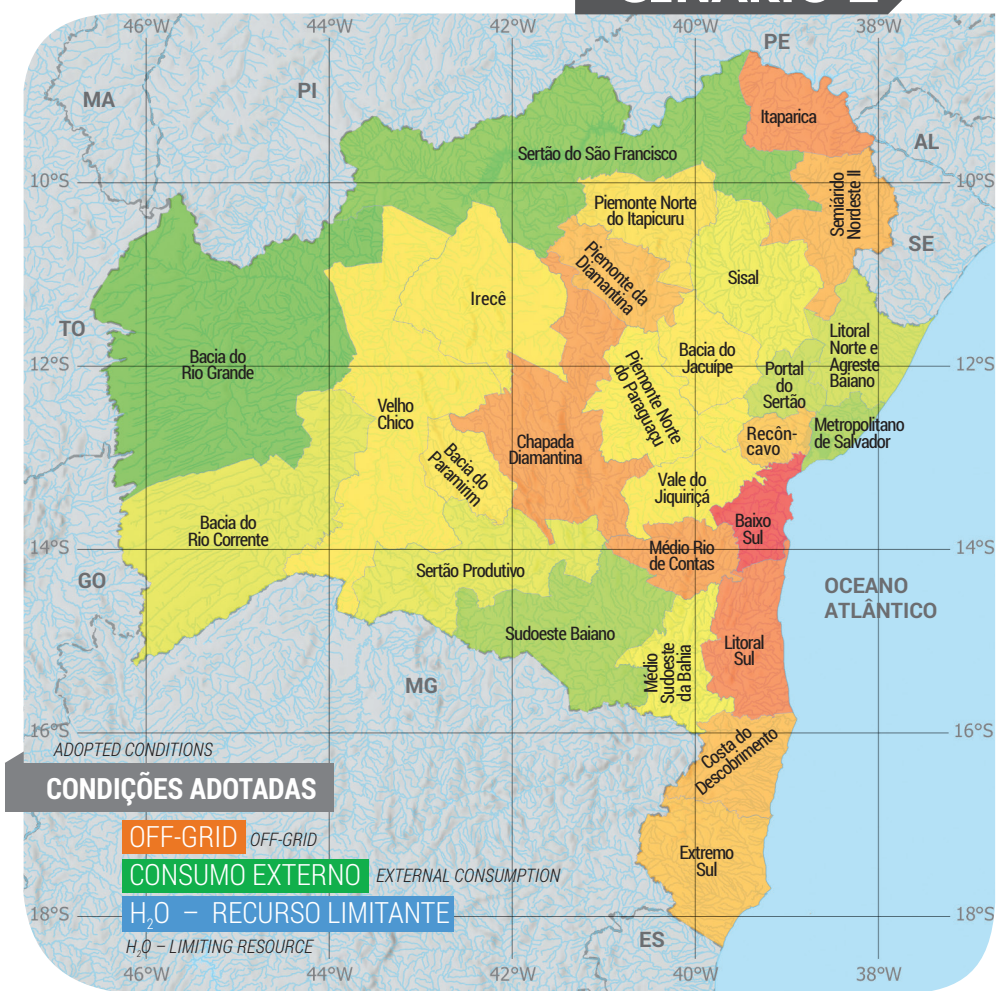
em referência aos 27 Territórios de Identidade
*in reference to the 27 Territories of Identity*

*SCENARIO 1*

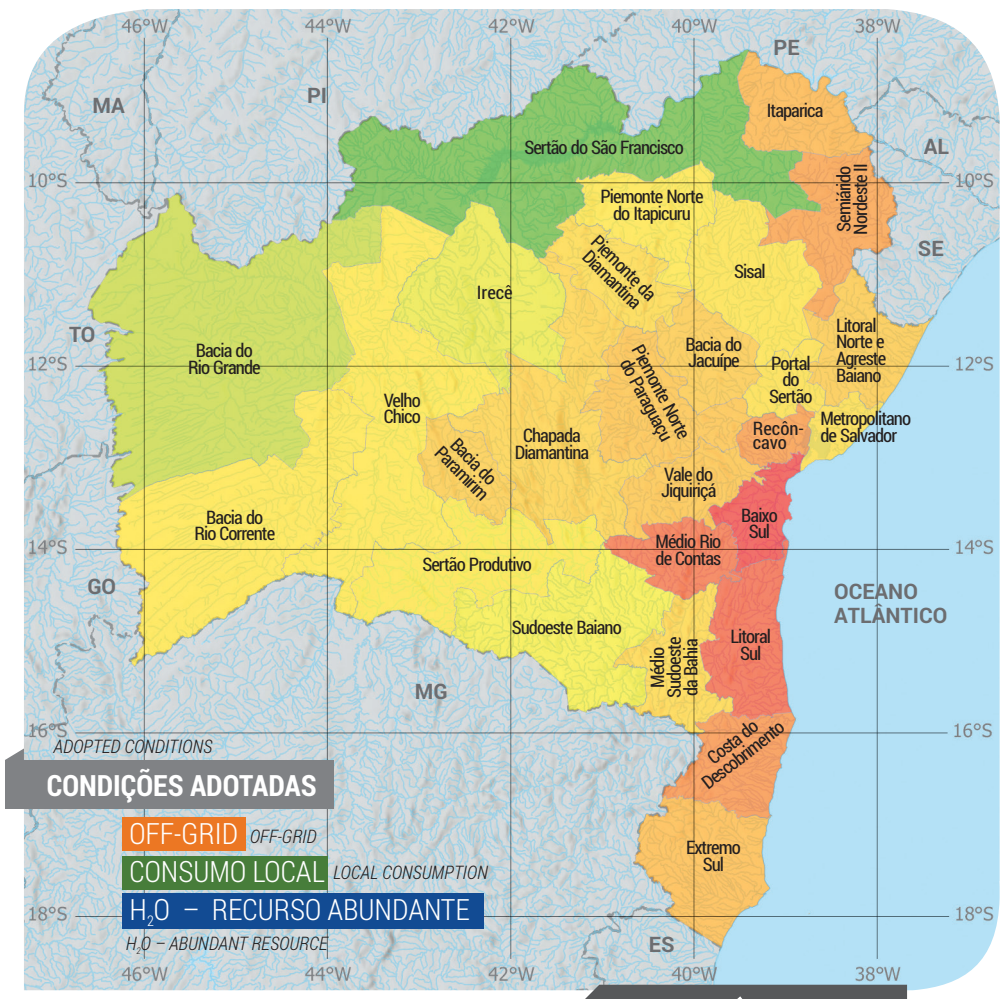
## CENÁRIO 1

*SCENARIO 2*

## CENÁRIO 2




## CENÁRIO 5




*SCENARIO 5*

## CENÁRIO 6

*SCENARIO 6*

Mapas gerados através dos dados de saída dos cenários hipotéticos do Modelo AHP, considerando o H2V produzido a partir da eletrólise da água.

*Maps generated through the output data of the hypothetical scenarios of the AHP Model, considering the GH2 produced from the electrolysis of water.*

Corpos d'água
*Water bodies*

Divisas estaduais
*State borders*

N W E S

**ESCALA 1:9 200 000**
Projeção Albers Cônica
Sistema de Referência Cartográfica
SIRGAS 2000

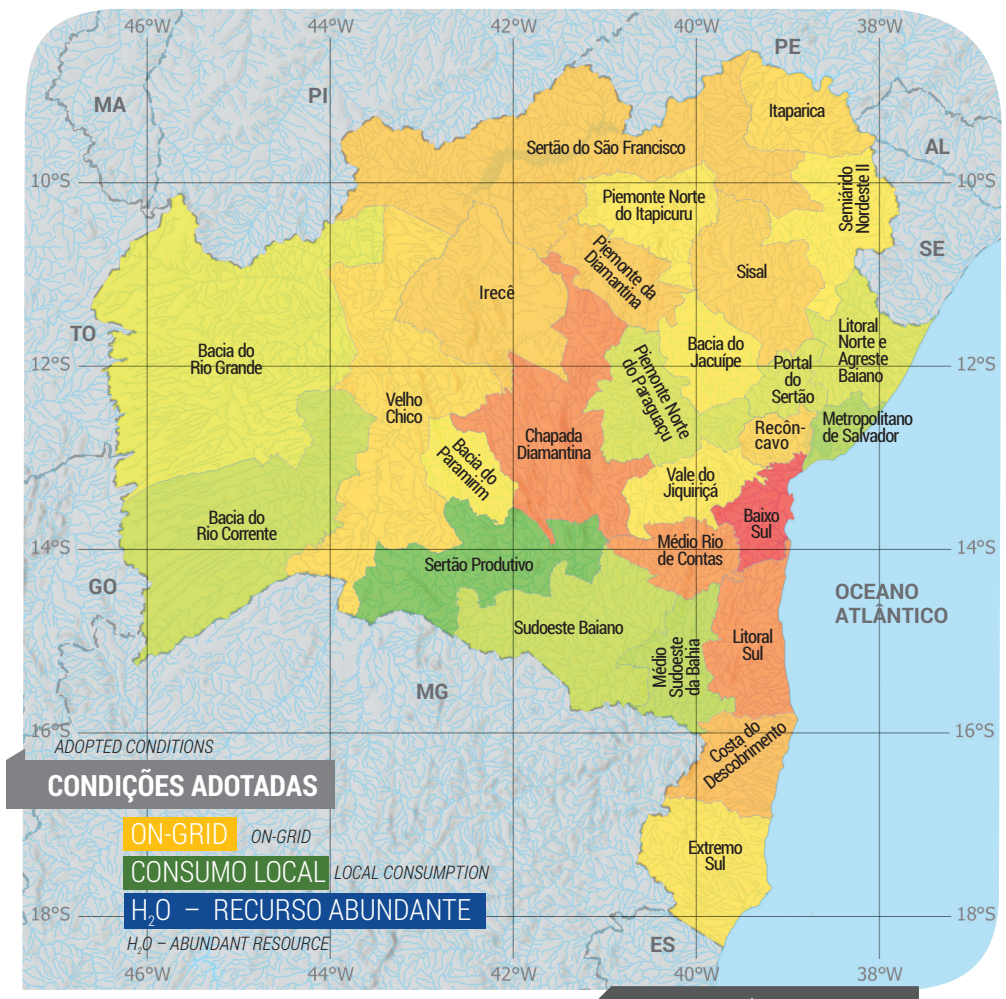
0 44 88 132 176 km

*SCENARIO 3*

## CENÁRIO 3

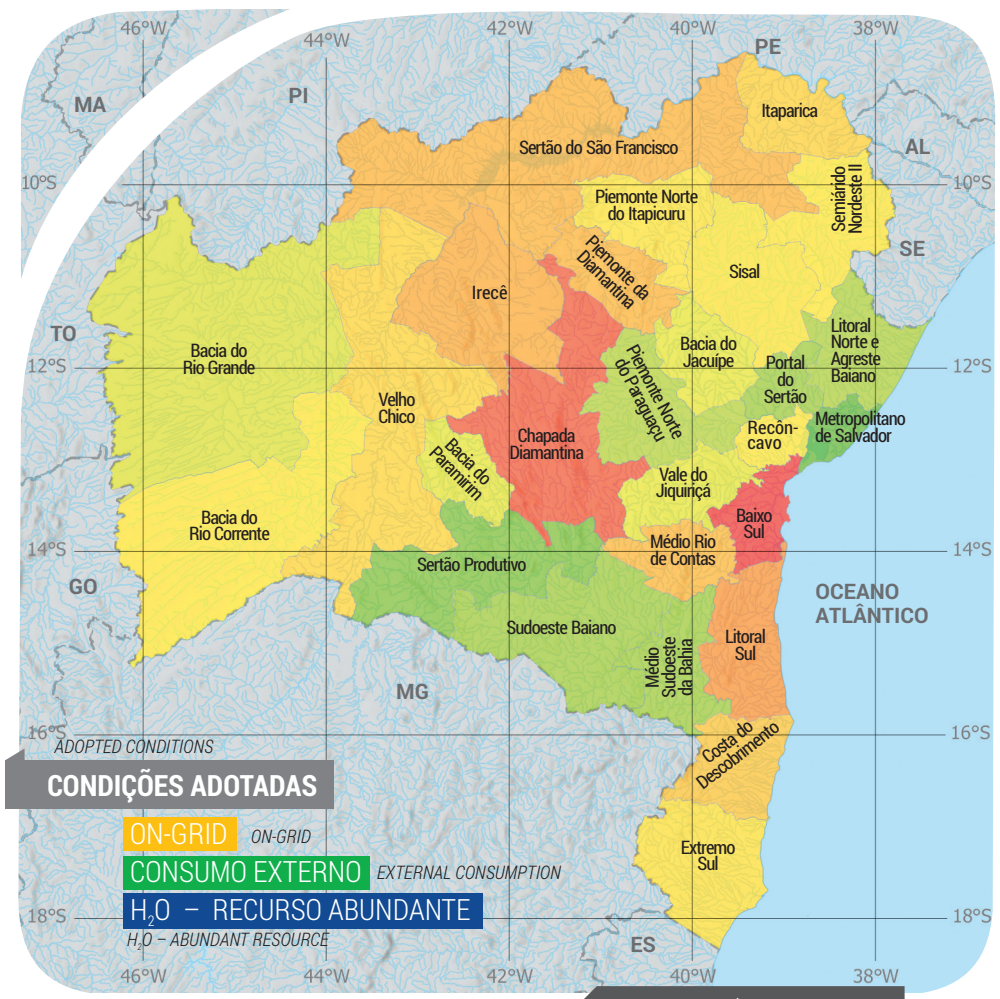
*SCENARIO 4*

## CENÁRIO 4




## CENÁRIO 7

*SCENARIO 7*




## CENÁRIO 8

*SCENARIO 8*

MAPA/MAP 8.2

# Aptidão para produção de H2V | CENÁRIO GERAL POR CRITÉRIOS

*SUITABILITY FOR GH2 PRODUCTION - GENERAL SCENARIO BY CRITERIA*

Corpos d'água
*Water bodies*

Divisas estaduais
*State borders*

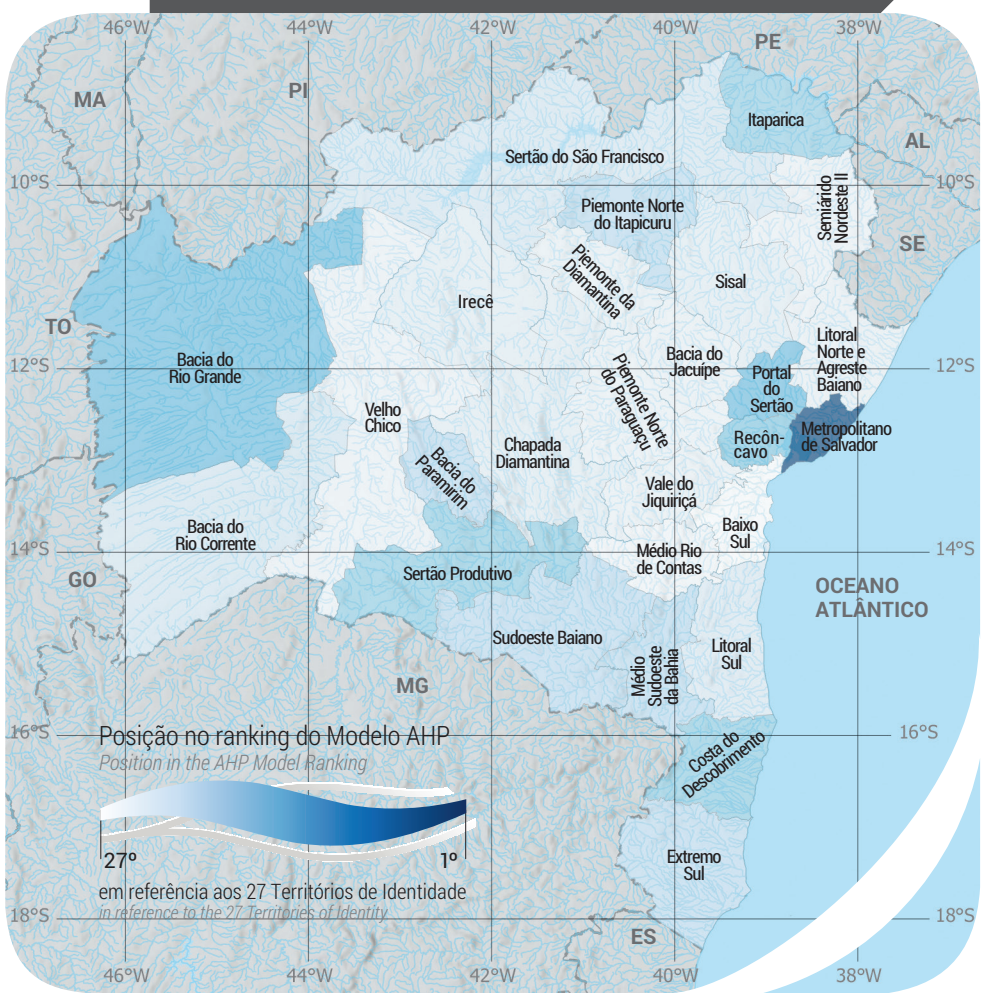
N W E S

**ESCALA 1:9 200 000**
Projeção Albers Cônica
Sistema de Referência Cartográfica
SIRGAS 2000

0 44 88 132 176 km

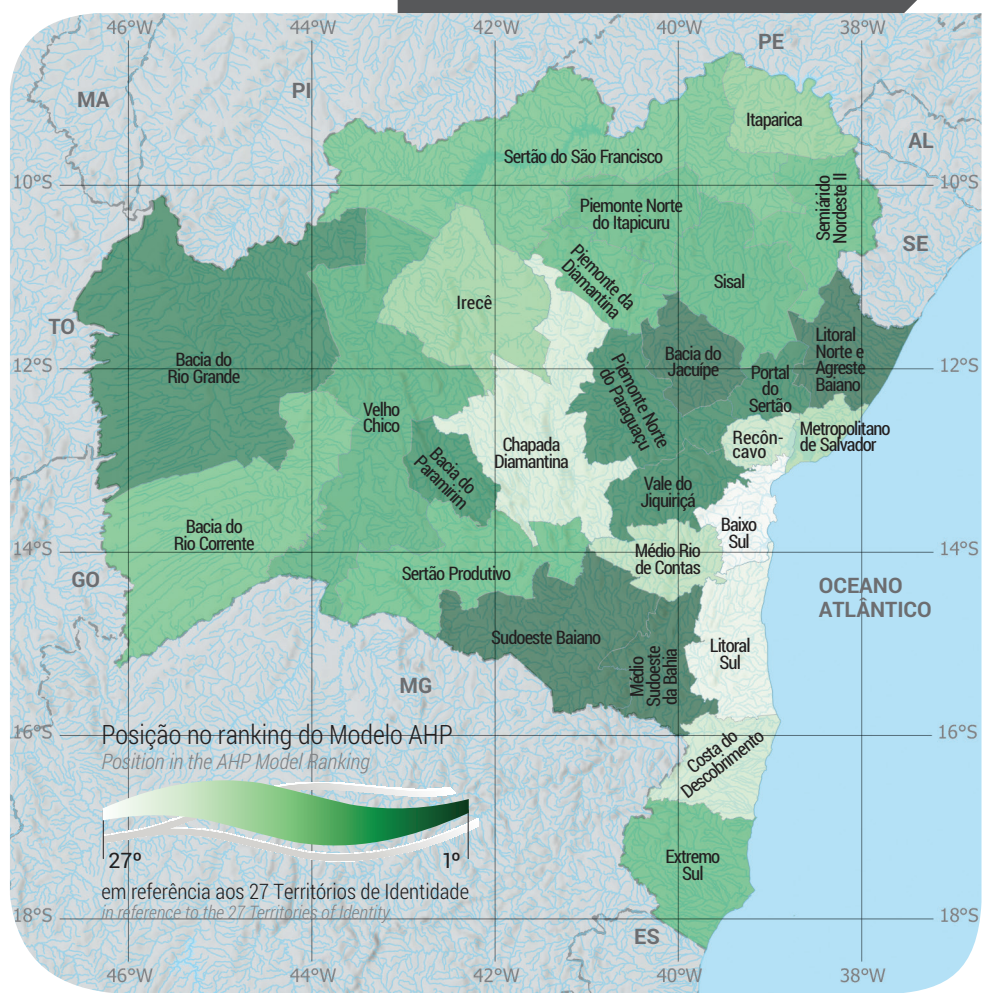
*DEVELOPMENT ASPECTS*

## ASPECTOS DE DESENVOLVIMENTO



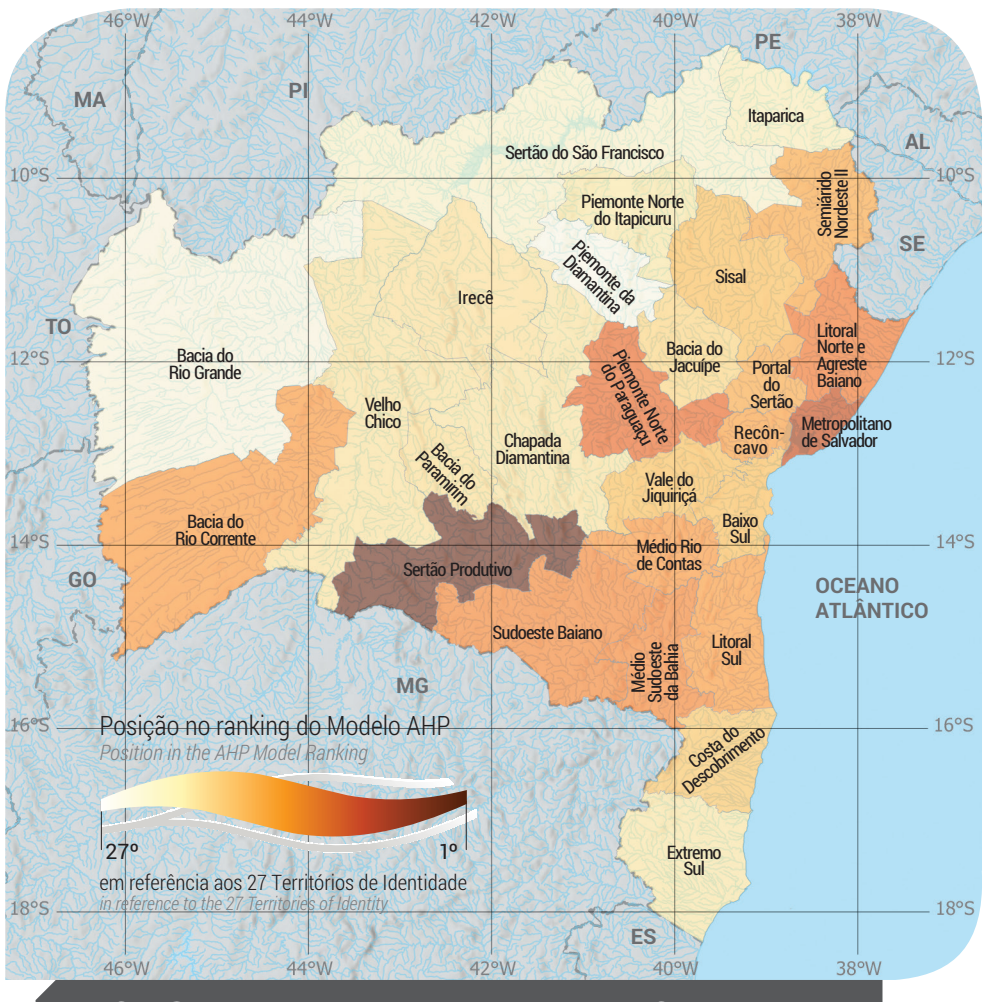

*ENVIRONMENT ASPECTS*

## ASPECTOS AMBIENTAIS



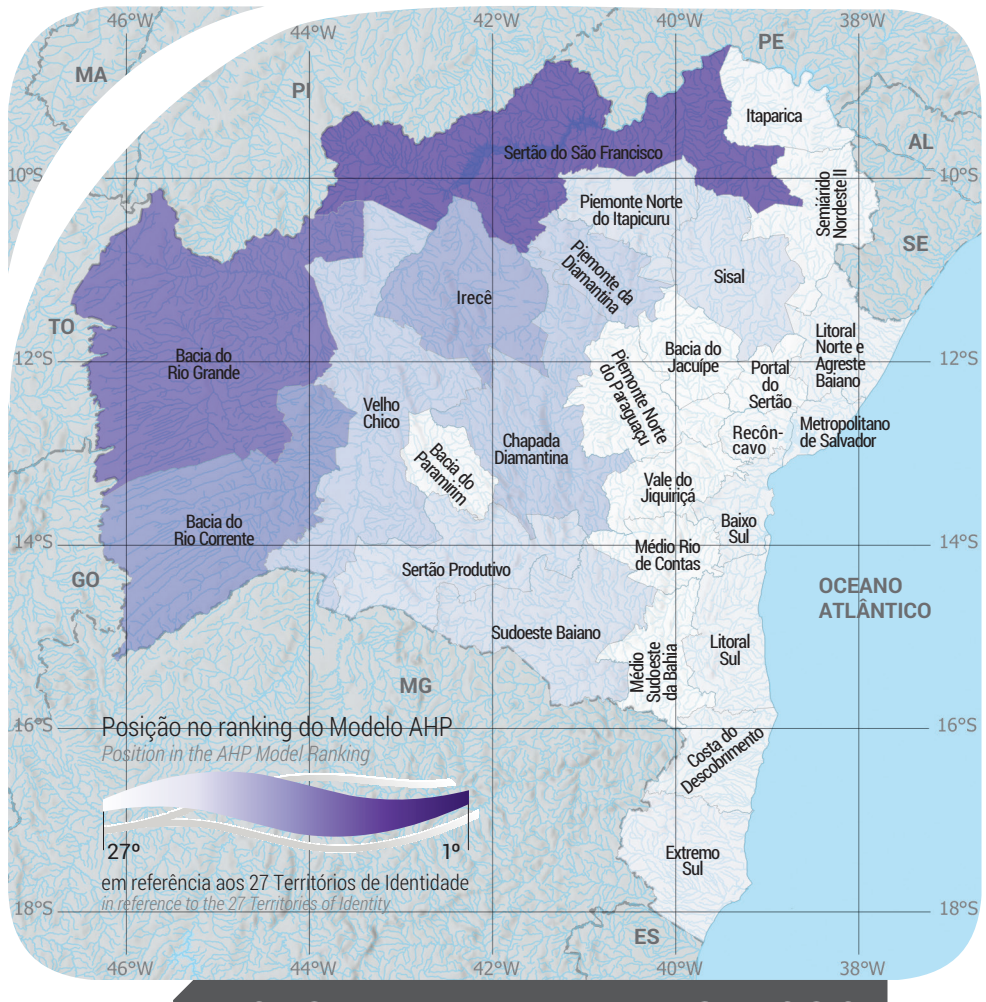

*AVAILABILITY OF INFRASTRUCTURE*

## DISPONIBILIDADE DE INFRAESTRUTURA




*AVAILABILITY OF RESOURCES*

## DISPONIBILIDADE DE RECURSOS



H2V Atlas Bahia

# Aptidão para a produção de H2V – Cenário Geral

*SUITABILITY FOR GH2 PRODUCTION – GENERAL SCENARIO*

MAPA/MAP 8.3

Posição no ranking do Modelo AHP em referência aos 27 Territórios de Identidade
*Position in the AHP Model Ranking in reference to the 27 Territories of Identity*
27º – 1º

- Conj. de n usinas fotovoltaicas em construção iniciada e/ou não iniciada *Photovoltaic plants under construction started and/or not started*
- Conj. de n usinas fotovoltaicas em operação *Photovoltaic plants in operation*
- Conj. de n parques eólicos em construção iniciada e/ou não iniciada *Wind farms under construction started and/or not started*
- Conj. de n parques eólicos em operação *Wind farms in operation*
- Subestações em operação 500 e 230 kV *Substation in operation 500 and 230 kV*
- Subestações em operação - 138, 69 e 34,5 kV *Substation in operation - 138, 69 and 34.5 kV*
- Subestações planejadas 500 e 230 kV *Planned substations 500 and 230 kV*
- Usinas hidrelétricas em operação - UHE *Hydroelectric power plants in operation - UHE*
- Central geradora hidroelétrica - CGH *Hydroelectric generating center - CGH*
- Pequenas centrais hidrelétricas em operação - PCH *Small hydroelectric power plants in operation - PCH*
- Usinas térmicas em operação - UTE *Thermal power plants in operation - UTE*
- LT 500 kV em operação *500 kV LT operating*
- LT 500 kV planejada *500 kV LT planned*
- LT 230 kV em operação *230 kV LT operating*
- LT 230 kV planejada *230 kV LT planned*
- LT 138 kV em operação *138 kV LT operating*
- LT 69 kV em operação *69 kV LT operating*
- LT 34,5 kV em operação *34.5 kV LT operating*
- Corpos d'água *Water bodies*
- Rede de drenagem *Draining line*
- Ferrovias *Railroads*
- Rodovia implantada *Established Road*
- Rodovia pavimentada *Paved Road*
- Rodovia em leito natural *Natural-bed road*
- Aeroporto *Airport*
- Porto organizado *Organized Port*
- Porto público *Public Port*
- Terminal de uso privado *Private Port*
- Divisas estaduais *State borders*
- UCs[a] de proteção integral *Full protection UCs[a]*

[a] UNIDADES DE CONSERVAÇÃO / *CONSERVATION UNITS.*

TERRITÓRIOS DE IDENTIDADE EM VERMELHO NÃO DEVEM SER INTERPRETADOS COMO "SEM POTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE H2V". A ESCALA DE CORES UTILIZADA INDICA APENAS QUE ESSAS REGIÕES POSSUEM CARACTERÍSTICAS (AMBIENTAIS, SOCIAIS, DISPONIBILIDADE DE RECURSOS E INFRAESTRUTURA) MENOS FAVORÁVEIS EM COMPARAÇÃO COM OUTRAS, CONFORME OS CRITÉRIOS, SUBCRITÉRIOS E PESOS ADOTADOS NA CONSTRUÇÃO DO MODELO AHP / *TERRITORIES OF IDENTITY IN RED SHOULD NOT BE INTERPRETED AS "WITHOUT POTENTIAL FOR GH2 PRODUCTION". THE COLOR SCALE USED ONLY INDICATES THAT THESE REGIONS HAVE LESS FAVORABLE CHARACTERISTICS (ENVIRONMENTAL, SOCIAL, AVAILABILITY OF RESOURCES AND INFRASTRUCTURE) COMPARED TO OTHERS, ACCORDING TO THE CRITERIA, SUB-CRITERIA AND WEIGHTS ADOPTED IN THE CONSTRUCTION OF THE AHP MODEL.*

BASE CARTOGRÁFICA / *CARTOGRAPHIC BASE:* ANA[20], ANAC[21], ANEEL & SUPEC-SEINFRA/BA[22], ANTAQ[23]; COELBA[24], DNIT[25], [26], EPE[27], ESRI[28], IBGE[29], [30], ONTL[31], SUPEC-SEINFRA/BA[32].

ESCALA 1:3 300 000
Projeção Albers Cônica
Sistema de Referência Cartográfica SIRGAS 2000
0 25 50 75 100 km

Gerado a partir dos dados de saída do cenário geral do Modelo AHP, considerando o H2V produzido a partir da eletrólise da água utilizando fontes de energia eólica e/ou solar.

*Generated from the output data of the general scenario of the AHP Model, considering GH2 produced from water electrolysis using wind and/or solar energy sources.*

Sistema FIEB | SENAI CIMATEC – PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO BAHIA
SECRETARIA DO MEIO-AMBIENTE
SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DO PLANEJAMENTO
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

### *8.2.2 PRIORITY AREAS*

*Map 8.4 offers a suggestion of priority areas for the development of the Green Hydrogen economy in the State of Bahia. This proposal was created taking into account the results obtained in the general scenario of the AHP Model and, consequently, the geographical distribution of the 27 Territories of Identity (TI) based on the ranking generated. As a result of this analysis, the following areas were identified:*

- ***Cluster A**: located in the western region of the state, covering the Territories of Identity Bacia do Rio Grande and Bacia do Rio Corrente;*
- ***Cluster B**: located in the southwestern region of the state, covering the Territories of Identity Sertão Produtivo and Sudoeste Baiano;*
- ***TI Sertão do São Francisco**: located in the northern region of Bahia State;*
- ***TI Metropolitano de Salvador**: located in the eastern coast of the state.*

*It is essential to emphasize that the results obtained through the AHP Model proposed in this study represent a macro analysis of highly complex factors, interconnected to the production chain associated with Green Hydrogen. These factors may change over time, requiring the consideration of new premises, criteria and sub-criteria, as well as the adaptation of the approach based on new technologies (e.g. the use of biomass for GH2 production) and other factors relevant to Bahia State. Therefore, it is necessary to update the mathematical model from time to time to reflect the conditions of the local reality as accurately as possible.*

*Finally, it is also important to mention that the AHP Model is a tool to support decision making. Nothing prevents specific public policies and private incentives with specific interests from directing efforts to the development of the Green Hydrogen economy in certain regions, to the detriment of others, even if in conflict to the results obtained through the generated Model presented in this Atlas.*

## *8.2.2 ÁREAS PRIORITÁRIAS*

O Mapa 8.4 oferece uma sugestão de áreas prioritárias para o desenvolvimento da economia do Hidrogênio Verde no estado da Bahia. Essa proposta foi elaborada levando em consideração os resultados obtidos no cenário geral do Modelo AHP e, consequentemente, a distribuição espacial dos 27 Territórios de Identidade (TI) com base no *ranking* gerado. Como resultado dessa análise, as seguintes áreas foram identificadas:

- ***Cluster* A**: localizado na região oeste do estado, abrangendo os Territórios de Identidade Bacia do Rio Grande e Bacia do Rio Corrente;
- ***Cluster* B**: situado na região sudoeste do estado, englobando os Territórios de Identidade Sertão Produtivo e Sudoeste Baiano;
- **TI Sertão do São Francisco**: situado na região norte do estado;
- **TI Metropolitano de Salvador**: situado na costa leste do estado.

É essencial ressaltar que os resultados obtidos por meio do Modelo AHP proposto neste estudo representam uma análise macro de fatores altamente complexos, interligados à cadeia produtiva associada ao Hidrogênio Verde. Esses fatores podem sofrer alterações ao longo do tempo, exigindo a consideração de novas premissas, critérios e subcritérios, bem como a adaptação da abordagem com base em novas tecnologias (por exemplo, o uso de biomassa para produção de H2V) e outros fatores relevantes para o estado da Bahia. Portanto, é necessário atualizar o modelo matemático de tempos em tempos para refletir as condições da realidade local o mais fielmente possível.

Por fim, é importante frisar que o Modelo AHP é uma ferramenta de apoio à tomada de decisões. Nada impede que políticas públicas pontuais e incentivos privados com interesses específicos direcionem esforços para o desenvolvimento da economia do Hidrogênio Verde em determinadas regiões, em detrimento de outras, mesmo que em desacordo com os resultados obtidos por meio do Modelo gerado, apresentado neste Atlas.

***FIGURA 8.8*** A produção agrícola do estado poderá se beneficiar pelo uso da Amônia Verde e seus derivados nitrogenados como fertilizantes, tendo o Hidrogênio Verde como principal insumo. Em destaque na imagem, plantio de soja no oeste da Bahia, que superou as 7 milhões de toneladas na safra 2020/21.

***FIGURE 8.8*** *The state's agricultural production could benefit from the use of Green Ammonia and its nitrogen derivatives as fertilizers, with Green Hydrogen as the main input. Highlighted in the image, soybean planting in western Bahia, which exceeded 7 million tons in the 2020/21 harvest.*

FOTO / *PHOTO:* AIBA – AGÊNCIA MARCA STUDIO

H2V Atlas Bahia

# Áreas prioritárias para a produção de H2V – Cenário Geral

*PRIORITY AREAS FOR GH2 PRODUCTION – GENERAL SCENARIO*

**MAPA/MAP 8.4**

Cluster A *Cluster A*

Cluster B *Cluster B*

TI Sertão do São Francisco *TI Sertão do São Francisco*

TI Metropolitano de Salvador *TI Metropolitano de Salvador*

- Conj. de n usinas fotovoltaicas em construção iniciada e/ou não iniciada *Photovoltaic plants under construction started and/or not started*
- Conj. de n usinas fotovoltaicas em operação *Photovoltaic plants in operation*
- Conj. de n parques eólicos em construção iniciada e/ou não iniciada *Wind farms under construction started and/or not started*
- Conj. de n parques eólicos em operação *Wind farms in operation*
- Subestações em operação 500 e 230 kV *Substation in operation 500 and 230 kV*
- Subestações em operação - 138, 69 e 34,5 kV *Substation in operation - 138, 69 and 34,5 kV*
- Subestações planejadas 500 e 230 kV *Planned substations 500 and 230 kV*
- Usinas hidrelétricas em operação - UHE *Hydroelectric power plants in operation - UHE*
- Central geradora hidroelétrica - CGH *Hydroelectric generating center - CGH*
- Pequenas centrais hidrelétricas em operação - PCH *Small hydroelectric power plants in operation - PCH*
- Usinas térmicas em operação - UTE *Thermal power plants in operation - UTE*
- LT 500 kV em operação *500 kV LT operating*
- LT 500 kV planejada *500 kV LT planned*
- LT 230 kV em operação *230 kV LT operating*
- LT 230 kV planejada *230 kV LT planned*
- LT 138 kV em operação *138 kV LT operating*
- LT 69 kV em operação *69 kV LT operating*
- LT 34,5 kV em operação *34.5 kV LT operating*
- Corpos d'água *Water bodies*
- Rede de drenagem *Draining line*
- UCs[a] de proteção integral *Full protection UCs[a]*
- Rodovia pavimentada *Paved Road*
- Rodovia implantada *Established Road*
- Rodovia em leito natural *Natural-bed road*
- Ferrovias *Railroads*
- Aeroporto *Airport*
- Porto organizado *Organized Port*
- Porto público *Public Port*
- Terminal de uso privado *Private Port*
- Divisas estaduais *State borders*

[a] UNIDADES DE CONSERVAÇÃO / *CONSERVATION UNITS.*

BASE CARTOGRÁFICA / *CARTOGRAPHIC BASE:* ANA[20], ANAC[21], ANEEL & SUPEC-SEINFRA/BA[22], ANTAQ[23]; COELBA[24], DNIT[25].[26], EPE[27], ESRI[28], IBGE[29].[30], ONTL[31], SUPEC-SEINFRA/BA[32].

ESCALA 1:3 300 000
Projeção Albers Cônica
Sistema de Referência Cartográfica
SIRGAS 2000
0 25 50 75 100 km

Sistema FIEB | SENAI CIMATEC
PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO BAHIA
SECRETARIA DO MEIO-AMBIENTE
SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA
SECRETARIA DO PLANEJAMENTO
SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

FOTO / *PHOTO*: ZIG KOCH

***FIGURA 8.9*** Geração Eólica no Complexo Alto Sertão, entre as cidades de Caetité e Guanambi, Bahia. Essa é uma das regiões do estado onde estão situadas as maiores médias de velocidades de vento. Novos empreendimentos de geração de energia renovável serão necessários para atender às demandas projetadas de produção de Hidrogênio Verde do estado.

***FIGURE 8.9*** *Wind generation in the Alto Sertão Complex, near the cities of Caetité and Guanambi, Bahia. This is one of the regions of the state where the highest average wind speeds are located. New renewable energy generation developments will be needed to meet the projected demands for Green Hydrogen production in the state.*

FOTO / *PHOTO*: MANU DIAS/GOVBA

***FIGURA 8.10*** Polo Petroquímico de Camaçari, localizado no município de Camaçari, Bahia. Se destaca como o maior complexo industrial integrado do Hemisfério Sul, sendo um dos grandes potenciais demandantes de Hidrogênio Verde no estado da Bahia.

***FIGURE 8.10*** *Camaçari Petrochemical Complex, located in the Camaçari city of Bahia. It stands out as the largest integrated industrial complex in the Southern Hemisphere, being one of the great potential demanders of Green Hydrogen in the State of Bahia.*

H2V Atlas Bahia

# CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

*CONCLUSIONS AND FINAL CONSIDERATIONS*

*CONCLUSIONS AND FINAL CONSIDERATIONS*

# CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fruto de uma colaboração entre o SENAI CIMATEC e o Governo do Estado da Bahia, o *Atlas H2V Bahia* tem como objetivo promover, fortalecer e consolidar a produção e o uso do Hidrogênio Verde (H2V) no estado, impulsionando o desenvolvimento de uma economia sustentável e contribuindo para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais.

O Hidrogênio Verde é considerado uma das principais fontes de energia do futuro e apontado como um vetor importante para a descarbonização nos setores da economia global. As projeções indicam um crescimento exponencial na demanda por H2V em diversos setores até 2032. A despeito das tecnologias de produção, armazenamento e transporte disponíveis atualmente, observa-se uma corrida tecnológica para aprimorar a eficiência dos processos, prolongar a vida útil e reduzir o custo do Hidrogênio Verde de modo a torná-lo cada vez mais competitivo e acessível para uso em larga escala.

A Bahia é um estado singular, com um vasto território e que abriga uma diversidade única de relevos, clima e biomas. Devido a sua extensa linha de costa, presença de baías protegidas que favorecem a navegação e uma infraestrutura portuária consolidada, o estado desfruta de uma localização geográfica estratégica, com amplo acesso às principais rotas do comércio marítimo no Oceano Atlântico. Além disso, a rede de estradas, ferrovias e hidrovias existente possibilita a integração entre os diferentes modais logísticos, facilitando o transporte do Hidrogênio Verde para outras regiões do Brasil e para exportação.

A estrutura produtiva da Bahia oferece oportunidades para o desenvolvimento de uma cadeia diversificada de Hidrogênio Verde, especialmente nos setores químico, petroquímico e em indústrias intensivas em energia. Atualmente, a demanda por hidrogênio "cinza" para uso em processos industriais na Bahia está concentrada no refino de petróleo e, principalmente, como matéria-prima para a produção de amônia. Desse modo, utilizar H2V na produção de amônia "verde" é uma estratégia promissora para reduzir as emissões de gases de efeito estufa no agronegócio do estado, com destaque para a região do extremo oeste da Bahia, minimizando os impactos ambientais da produção de fertilizantes à base de amônia. Além disso, existem várias oportunidades para reduzir as emissões de carbono em diversas atividades econômicas do estado por meio do uso do H2V, como mineração e siderurgia, uso energético adicionado ao gás natural liquefeito de petróleo, combustível para transporte e mobilidade urbana, além do armazenamento de energia excedente gerada por fonte eólica e solar fotovoltaica.

A Bahia se destaca na economia global do Hidrogênio Verde principalmente devido ao seu elevado potencial para a produção de energias renováveis. O estado possui condições ideais por causa das características hídricas favoráveis, clima ensolarado e ventos alísios consistentes em seu vasto território. Levando em consideração os avanços tecnológicos dos aerogeradores, com diâmetros de rotor e alturas de torres cada vez maiores, estima-se que a capacidade eólica instalável na Bahia seja de 365,9 GW. Em relação à irradiação solar, o potencial de geração fotovoltaica supera significativamente o consumo atual de energia do estado, resultando em uma capacidade instalável de 2.045,9 GW. Com base

nesse cenário, estima-se que a Bahia tenha potencial para produzir anualmente cerca de 84 milhões de toneladas de H2V.

Adicionalmente, a disponibilidade hídrica total do estado, após descontadas as demandas de usos consuntivos da água, foi estimada em 69,2 bilhões de $m^3.ano^{-1}$. Diante desse quantitativo, é possível afirmar que o estado da Bahia possui um grande potencial hídrico, capaz de suprir as demandas de produção de H2V atuais e projetadas do estado. Além disso, a elevada disponibilidade de água de boa qualidade deve repercutir positivamente sobre os custos de produção, tornando o H2V produzido na Bahia altamente competitivo. Entretanto, é importante ressaltar que a exploração desse recurso natural deve ser feita de forma sustentável, com o devido embasamento técnico e sempre respeitando as capacidades de explotação dos corpos hídricos superficiais e as taxas de recarga/renovação dos sistemas aquíferos. Adicionalmente, outras fontes deverão ser avaliadas, a exemplo das águas residuais de processos industriais e aquelas consideradas impróprias para o uso humano, animal e na agricultura, o que certamente irá contribuir para o desenvolvimento de uma cadeia de H2V sólida e duradoura no estado.

A modelagem matemática revelou que as regiões centro-norte, oeste e sudoeste do estado possuem uma elevada aptidão para a produção de Hidrogênio Verde. Isso se deve principalmente à disponibilidade combinada de recursos eólicos, solares e hídricos, fundamentais para a produção de H2V através da eletrólise da água. A Região Metropolitana de Salvador também se destaca, principalmente devido à concentração de produção e refino de petróleo no Polo Petroquímico de Camaçari e no Centro Industrial de Aratu. Além disso, a existência de uma rede de portos e terminais, que compõe o Complexo Portuário Baía de Todos os Santos, contribui para essa posição privilegiada. Os cenários hipotéticos modelados também revelaram a viabilidade de diferentes estratégias produtivas e logísticas coexistindo no estado, cada uma delas adequada a determinada região, ampliando o espectro de possibilidades e impulsionando o desenvolvimento da economia do H2V na Bahia. Desse modo, a escolha do melhor local para instalação de usinas para produção de H2V deve considerar não somente as características da região, mas também o modelo de negócio pretendido para o novo empreendimento.

Diante do exposto, é possível concluir que a Bahia possui todas as características necessárias para se tornar um centro líder na produção de Hidrogênio Verde. Aproveitando seus abundantes recursos naturais e a infraestrutura existente, o estado pode estabelecer uma indústria de energia limpa e sustentável em um curto espaço de tempo. Essa indústria não apenas fornecerá energia limpa para a Bahia e o restante do Brasil, mas também gerará empregos, impulsionará a economia local e contribuirá para os esforços globais de combate às mudanças climáticas. No entanto, para atingir esses objetivos, será necessário investir em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, estabelecer uma estrutura regulatória clara, promover parcerias público-privadas, investir na educação e treinamento de mão de obra, e desenvolver novas infraestruturas de energias renováveis.

Por fim, espera-se que os resultados desse estudo apontem o caminho que a Bahia deve seguir para se tornar líder na economia do Hidrogênio Verde, contribuindo para um futuro energético mais sustentável tanto para o estado quanto para o Brasil e o mundo.

ILUSTRAÇÕES / *ILLUSTRATIONS*: LEO GIBRAN

*CONCLUSIONS AND FINAL CONSIDERATIONS*

# CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

*Result of a collaboration of SENAI CIMATEC and Bahia State Government, the* GH2 Bahia Atlas *aims to promote, strengthen and consolidate the production and use of Green Hydrogen (GH2) in the state, boosting the development of a sustainable economy and contributing to the mitigation of the effects of global climate change.*

*Green Hydrogen is considered one of the main energy sources of the future and is seen as an important vector for decarbonisation in sectors of the global economy. Projections indicate an exponential growth in demand for GH2 in several sectors by 2032. Despite the production, storage and transportation technologies currently available, there is a technological rush to improve the efficiency of processes, extend the useful life and reduce the cost of Green Hydrogen in order to make it increasingly competitive and accessible for large-scale use.*

*Bahia is a unique state, with a vast territory and a unique diversity of topography, climate and biomes. Due to its extensive coastline, the presence of protected bays that favor navigation and a consolidated port infrastructure, the state benefits from a strategic geographical location, with wide access to the main maritime trade routes in the Atlantic Ocean. In addition, the existing network of roads, railroads and waterways enables integration with the different logistics modes, facilitating the transportation of Green Hydrogen to other regions of Brazil and for export.*

*The productive structure of Bahia offers opportunities for the development of a diversified Green Hydrogen chain, especially in the chemical, petrochemical and in energy-intensive industries. Currently, the demand for "gray" hydrogen for use in industrial processes in Bahia is concentrated in oil refining and, mainly, as a raw material for the production of ammonia. This way, using GH2 in the production of "green" ammonia is a promising strategy to reduce greenhouse gas emissions in the state's agribusiness, especially in the far west region of Bahia, minimizing the environmental impacts of ammonia-based fertilizer production. In addition, there are several opportunities to reduce carbon emissions in various economic activities in the state through the use of GH2, such as mining and steel industry, energy use added to liquefied petroleum natural gas, fuel for transportation and urban mobility, as well as the storage of surplus energy generated by wind and solar photovoltaic sources.*

*Bahia stands out in the global Green Hydrogen economy mainly due to its high potential for renewable energy production. The state has ideal conditions because of favorable water characteristics, sunny climate and consistent trade winds in its vast territory. Taking into account the technological advances of wind turbines, with ever-increasing rotor diameters and tower heights, it is estimated that the installable wind capacity in Bahia is 365.9 GW. In relation to solar irradiation, the photovoltaic generation potential significantly exceeds the state's current energy consumption, resulting in an installable capacity of 2,045.9 GW. Based on this scenario, it is estimated that Bahia has the potential to produce around 84 million tons of GH2 annually.*

*Additionally, the total water availability of the state, after discounting the demands of consumptive uses of water, was estimated*

*at 69.2 billion $m^3.year^{-1}$. Given this amount, it is possible to affirm that Bahia State has a great water potential, capable of supplying the current and projected GH2 production demands of the state. Also, the high availability of good quality water should have a positive impact on production costs, making the GH2 produced in Bahia highly competitive. However, it is important to emphasize that the use of this natural resource must be done in a sustainable way, with the proper technical basis and always respecting the exploitation capacities of surface water bodies and the recharge/renewal rates of aquifer systems. In addition, other sources should be evaluated, such as wastewater from industrial processes and those considered unsuitable for human, animal and agricultural use, which will certainly contribute to the development of a solid and lasting GH2 chain in the state.*

*Mathematical modeling revealed that the north-central, western and southwestern regions of the state have a high suitability for Green Hydrogen production. This is mainly due to the combined availability of wind, solar and water resources, which are fundamental for GH2 production through water electrolysis. The Metropolitan Region of Salvador also stands out, mainly due to the concentration of oil production and refining in the Camaçari Petrochemical Complex and the Aratu Industrial Center. In addition, the existence of a network of ports and terminals, which compose the Baía de Todos os Santos Port Complex, contributes to this privileged position. The hypothetical scenarios modeled also revealed the feasibility of different production and logistics strategies coexisting in the state, each of them suitable for a particular region, expanding the spectrum of possibilities and boosting the development of the GH2 economy in Bahia. Thus, the choice of the best location for the installation of plants for GH2 production should consider not only the characteristics of the region, but also the business model intended for the new venture.*

*Considering the above, it is possible to conclude that Bahia has all the necessary characteristics to become a leading center in the production of Green Hydrogen. Taking advantage of its abundant natural resources and existing infrastructure, the state can establish a clean and sustainable energy industry in a short time. This industry will not only provide clean energy for Bahia and the rest of Brazil, but will also generate jobs, stimulate the local economy and contribute to global efforts to fight climate change. However, achieving these goals will require investing in research and technological development, establishing a clear regulatory framework, promoting public-private partnerships, investing in education and workforce training, and developing new renewable energy infrastructure.*

*Finally, it is hoped that the results of this study will point the way for Bahia to become a leader in the Green Hydrogen economy, contributing to a more sustainable energy future not only for the state but also for Brazil and the world.*

ILUSTRAÇÕES / *ILLUSTRATIONS*: LEO GIBRAN

H2V Atlas Bahia

# APÊNDICES

***APPENDICES***

# APÊNDICE A – EQUAÇÕES E MÉTODOS DE CÁLCULO

**APPENDIX A - EQUATIONS AND CALCULATION METHODS**

## A.1 ASPECTOS DE DESENVOLVIMENTO

### A.1.1 Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal – IFDM

$$IFDM_{T_n} = \frac{\Sigma IFDM_{Mun_i}}{N_{Mun_{T_n}}}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 /
*Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$IFDM_{T_n}$ = Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal /
*Firjan Index of City Development;*
$N_{Mun_{T_n}}$ = Número de municípios / *Number (quantity) of cities;*
$IFDM_{Mun_i}$ = IFDM de um município i (com i = 1, 2, ..., $N_{Mun_{T_n}}$) /
*IFDM of a city i (where i=1, 2, ..., $N_{Mun_{T_n}}$).*

### A.1.2 Índice de Vulnerabilidade Social – IVS

$$IVS_{T_n} = \frac{\Sigma IVS_{Mun_i}}{N_{Mun_{T_n}}}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 /
*Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$IVS_{T_n}$ = Índice de Vulnerabilidade Social / *Index of Social Vulnerability;*
$N_{Mun_{T_n}}$ = Número de municípios / *Number (quantity) of cities;*
$IVS_{Mun_i}$ = IVS de um município i (com i = 1, 2, ..., $N_{Mun_{T_n}}$) /
*IVS of a city i (where i = 1, 2, ..., $N_{Mun_{T_n}}$).*

### A.1.3 Concentração Industrial – IHH

$$IHH_{T_n} = \sum_{i=1}^{n} S_i^2$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 /
*Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$IHH_{T_n}$ = Índice Hirschman-Herfindahl / *Index Hirschman-Herfindahl;*
n = Número de empresas participantes do mercado em questão / *Number (quantity) of companies participating in the market in question;*
$S_i$ = Participação de cada empresa no mercado /
*Participation of each company in the market;*
i = Tipo de empresa em um dado mercado /
*Type of company in the market in question.*

### A.1.4 Formação de Mão de Obra Especializada

$$MOE_{T_n} = \Sigma\ Uni_{T_n} + Fac_{T_n} + ET_{T_n}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 /
*Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$MOE_{T_n}$ = Potencial de formação de mão de obra especializada /
*Potential training of specialized manpower;*
$Uni_{T_n}$ = Número absoluto de Universidades / *Number (quantity) of Universities;*
$Fac_{T_n}$ = Número absoluto de Faculdades / *Number (quantity) of Faculties and Colleges;*
$ET_{T_n}$ = Número absoluto de Escolas Técnicas /
*Number (quantity) of Technical Schools.*

### A.1.5 Mercado de Trabalho na Indústria

$$MOE_{T_n} = \Sigma\ Uni_{T_n} + Fac_{T_n} + ET_{T_n}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 /
*Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$MOE_{T_n}$ = Potencial de formação de mão de obra especializada /
*Potential training of specialized manpower;*
$Uni_{T_n}$ = Número absoluto de Universidades / *Number (quantity) of Universities;*
$Fac_{T_n}$ = Número absoluto de Faculdades /
*Number (quantity) of Faculties and Colleges;*
$ET_{T_n}$ = Número absoluto de Escolas Técnicas /
*Number (quantity) of Technical Schools.*

## A.2 ASPECTOS AMBIENTAIS

### A.2.1 Áreas Protegidas

$$AP_{T_n} = \Sigma\ RPPN_{T_n} + UC_{T_n} + MRA_{T_n}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 /
*Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$AP_{T_n}$ = Área Protegida por Lei / *Protected Area by Law* [km²];
$RPPN_{T_n}$ = Área de Reserva Particular de Patrimônio Natural /
*Private Natural Heritage Reserve Area* [km²];
$UC_{T_n}$ = Área de Unidades de Conservação de Proteção Integral /
*Full Protection Conservation Units Area* [km²];
$MRA_{T_n}$ = Área de Mangue, Restinga e Apicum /
*Mangrove, Restinga and Apicum Area* [km²].

### A.2.2 Áreas Restritas

$$AR_{T_n} = \Sigma\ TT_{T_n} + AS_{T_n}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 /
*Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$AR_{T_n}$ = Área Restrita por Lei / *Restricted area by Law* [km²];
$TT_{T_n}$ = Área de Territórios Tradicionais Quilombolas e Indígenas /
*Quilombola and Indigenous Traditional Territories Area* [km²];
$AS_{T_n}$ = Área de Assentamentos / *Settlement Area* [km²].

### A.2.3 Uso e Ocupação do Solo

$$UOS_{T_n} = \Sigma\ URB_{T_n} + CHS_{T_n} + MI_{T_n}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 /
*Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$UOS_{T_n}$ = Área de Uso e Ocupação do Solo / *Soil Use and Occupation Area* [km²];
$URB_{T_n}$ = Área de Corpos Hídricos Superficiais /
*Surface Water Bodies Area* [km²];
$MI_{T_n}$ = Área de Mineração / *Mining Area* [km²].


A.1 DEVELOPMENT ASPECTS
A.1.1 FIRJAN INDEX OF CITY DEVELOPMENT – IFDM
A.1.2 INDEX OF SOCIAL VULNERABILITY – IVS
A.1.3 INDUSTRIAL CONCENTRATION – IHH
A.1.4 TRAINING OF SPECIALIZED MANPOWER
A.1.5 JOB MARKET IN THE INDUSTRY
A.2 ENVIRONMENTAL ASPECTS
A.2.1 PROTECTED AREAS
A.2.2 RESTRICTED AREAS
A.2.3 SOIL USE AND OCCUPATION

*A.2.4 NATURAL CAVITIES*

*A.2.5 ARCHAEOLOGICAL SITES*

## *A.3 INFRASTRUCTURE AVAILABILITY*

*The analysis of the availability of logistics infrastructure was conducted by measuring the distance between the host municipality of the Territory of Identity and the main existing infrastructures, such as highways, railroads, pipelines, ports, and airports. For this evaluation, specific distance intervals and respective classes were established, as described below:*

### *A.3.1 HIGHWAY NETWORK*

*Road distance from the host municipality of the evaluated Territory of Identity to the closest highway (BA or BR), then classified according to the distance intervals established in Table A.1.*

### *A.3.2 RAILROAD NETWORK*

*Road distance from the host municipality of the evaluated Territory of Identity to the closest railroad network, then classified according to the distance intervals established in Table A.1.*

### *A.2.4 Cavidades Naturais*

$$OCN_{T_n} = \frac{\Sigma BufCN_{T_n}}{AT_{T_n}} \times 1.000$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 / *Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$OCN_{T_n}$ = Ocorrência de Cavidades Naturais / *Occurrence of Natural Cavities;*
$BufCN_{T_n}$ = Área do buffer raio de 250 m no ponto da Cavidade Natural / *Buffer area (250 m radius) at Cavity Point* [km²];
$AT_{T_n}$ = Área total do Território de Identidade / *Total Area of Territory of Identity* [km²].

### *A.2.5 Sítios Arqueológicos*

$$OSA_{T_n} = \frac{\Sigma BufSA_{T_n}}{AT_{T_n}} \times 1.000$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 / *Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$OSA_{T_n}$ = Ocorrência de Sítios Arqueológicos / *Occurrence of archaeological sites;*
$BufSA_{T_n}$ = Área do buffer raio de 250 m no ponto do Sítio Arqueológico / *Buffer area (250 m radius) at the Archaeological Site point* [km²];
$AT_{T_n}$ = Área total do Território de Identidade / *Total Area of Territory of Identity* [km²].

## *A.3 DISPONIBILIDADE DE INFRAESTRUTURA*

A análise da disponibilidade de infraestrutura logística foi conduzida por meio de medições de distância entre o município sede do Território de Identidade e as principais infraestruturas existentes, como rodovias, ferrovias, dutovias, portos e aeroportos. Para essa avaliação, foram estabelecidos intervalos de distância específicos e respectivas classes, conforme descrito a seguir.

***TABELA A.1*** Intervalos de distância e classes adotadas.

***TABLE A.1*** *Interval of distance and adopted classes.*

| CLASSE *CLASS* | DISTÂNCIA [km] *DISTANCE [km]* |
|---|---|
| **1** | Até 100 *Up to 100* |
| **2** | 101 a 200 *101 to 200* |
| **3** | 201 a 300 *201 to 300* |
| **4** | 301 a 400 *301 to 400* |
| **5** | 401 a 500 *401 to 500* |

| CLASSE *CLASS* | DISTÂNCIA [km] *DISTANCE [km]* |
|---|---|
| **6** | *501 a 600* *501 to 600* |
| **7** | *601 a 700* *601 to 700* |
| **8** | *701 a 800* *701 to 800* |
| **9** | *801 a 900* *801 to 900* |
| **10** | *901 a 1000* *901 to 1000* |

### *A.3.1 Malha Rodoviária*

Distância rodoviária do município sede do Território de Identidade avaliado até a rodovia (BA ou BR) mais próxima, em seguida classificada em função dos intervalos de distância estabelecidos na Tabela A.1.

### *A.3.2 Malha Ferroviária*

Distância rodoviária do município sede do Território de Identidade avaliado até a malha ferroviária mais próxima, em seguida classificada em função dos intervalos de distância estabelecidos na Tabela A.1.

## A.3.3 Aeroportos

Distância rodoviária do município sede do Território de Identidade avaliado até o aeroporto mais próximo, em seguida classificada em função dos intervalos de distância estabelecidos na Tabela A.1.

## A.3.4 Malha Dutoviária

Distância em linha reta do município sede do Território de Identidade avaliado até o gasoduto mais próximo, em seguida classificada em função dos intervalos de distância estabelecidos na Tabela A.1.

## A.3.5 Portos

Distância em linha reta do município sede do Território de Identidade avaliado até a instalação portuária mais próxima, em seguida classificada em função dos intervalos de distância estabelecidos na Tabela A.1.

## A.3.6 Infraestrutura de Armazenagem

A análise da infraestrutura de armazenagem preexistente em cada Território de Identidade foi realizada considerando 0 (zero) para a inexistência de infraestrutura e 1 (um) para a existência, aplicando a equação abaixo:

$$PA_{T_n} = \frac{\Sigma C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7}{N_c}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 / *Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$PA_{T_n}$ = Potencial de Armazenamento / *Warehousing Potencial;*
$C_1$ = Estação de Compressão / *Compression Station;*
$C_2$ = Terminal de Armazenamento de Petróleo e Derivados (tanques atmosféricos) / *Oil and Derivatives Storage Terminal (atmospheric tanks);*
$C_3$ = Terminal de Armazenamento de Gás (tanques pressurizados e esferas) / *Gas Storage Terminal (pressurized tanks and spheres);*
$C_4$ = Outras Instalações infraestrutura e segurança / *Other Facilities infrastructure and safety);*
$C_5$ = Mão de Obra Especializada / *Specialized Manpower;*
$C_6$ = Tubovias / *Pipelines;*
$C_7$ = Terminal Portuário / *Port Terminal;*
$N_c$ = Número de Critérios / *Number of Criteria.*

## A.3.7 Linhas de Transmissão e Distribuição Instaladas

O método de cálculo considerou as linhas de transmissão (230 kV e 500 kV) e subtransmissão (34,5 kV, 69 kV, 138 kV) instaladas, aplicando a equação abaixo:

$$D_{LTDI_{T_n}} = \frac{\Sigma L_{LTDI_{T_n}}}{AT_{T_n}}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 / *Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$D_{LTDh_{T_n}}$ = Densidade de Linhas de Transmissão e Distribuição Instaladas / *Density of Installed Transmission and Distribution Lines* [$km^{-1}$];
$L_{LTDIt_{T_n}}$ = Comprimento das Linhas de Transmissão e Distribuição Instaladas / *Length of Installed Transmission and Distribution Lines* [km];
$AT_{T_n}$ = Área total do Território de Identidade / *Territory of Identity Total Area* [$km^2$].

## A.3.8 Linhas de Transmissão e Distribuição Planejadas

O método de cálculo considerou as linhas de transmissão (230 kV e 500 kV) e subtransmissão (34,5 kV, 69 kV, 138 kV) planejadas, aplicando a equação abaixo:

$$D_{LTDP_{T_n}} = \frac{\Sigma L_{LTDP_{T_n}}}{AT_{T_n}}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 / *Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$D_{LTDP_{T_n}}$ = Densidade de Linhas de Transmissão e Distribuição *Planejadas* / *Density of Planned Transmission and Distribution Lines* [$km^{-1}$];
$L_{LTDP_{T_n}}$ = Comprimento das Linhas de Transmissão e Distribuição *Planejadas* / *Length of Planned Transmission and Distribution Lines* [km];
$AT_{T_n}$ = Área total do Território de Identidade / *Territory of Identity Total Area* [$km^2$].

### A.3.3 AIRPORTS

*Road distance from the host municipality of the evaluated Territory of Identity to the closest airport, then classified according to the distance intervals established in Table A.1.*

### A.3.4 PIPELINE NETWORK

*Distance in a straight line from the host municipality of the evaluated Territory of Identity to the closest gas pipeline, then classified according to the distance intervals established in Table A.1.*

### A.3.5 PORTS

*Distance in a straight line from the host municipality of the evaluated Territory of Identity to the closest port facility, then classified according to the distance intervals established in Table A.1.*

### A.3.6 WAREHOUSING INFRASTRUCTURE

*The analysis of the pre-existing warehousing infrastructure in each Territory of Identity was performed considering 0 (zero) for no infrastructure and 1 (one) for existence, applying the equation below:*

### A.3.7 TRANSMISSION AND DISTRIBUTION LINES INSTALLED

*The calculation method considered the transmission lines (230 kV and 500 kV) and subtransmission lines (34,5 kV, 69 kV, 138 kV) installed, according to the following equation:*

### A.3.8 TRANSMISSION AND DISTRIBUTION LINES PLANNED

*The calculation method considered the transmission lines (230 kV and 500 kV) and subtransmission lines (34,5 kV, 69 kV, 138 kV) planned, according to the following equation:*

*APPENDIX A*

# APÊNDICE A – EQUAÇÕES E MÉTODOS DE CÁLCULO

## A.4 RESOURCES AVAILABILITY

*The variable Total Restricted Area is not a sub criteria of the AHP Model, but was used in the calculation of some of them, and was obtained from the equation below:*

### A.4.1 AVAILABLE WIND RESOURCE AREA

*The method for calculating the area occupied by wind farms took into account the nominal power of each of the plants and the effective wind power density of 4.0 MW.km$^{-2}$, considering wind turbines with technologies currently available on the market, and was calculated from the equation below:*

*Then, the restricted areas and areas occupied by existing and already contracted wind farms were suppressed, according to the equation below:*

### A.4.2 AVAILABLE SOLAR RESOURCE AREA

*The method for calculating the area occupied by photovoltaic plants took into account the nominal power of each of the plants and the effective solar photovoltaic power density of 4.0 MW.km$^{-2}$, considering crystalline silicon technologies with fixed systems, and was calculated from the equation below:*

*Then, both the restriction areas and the areas occupied by existing and already contracted photovoltaic plants were suppressed, according to the equation below:*

## A.4 DISPONIBILIDADE DE RECURSOS

A variável *Área de Restrição Total* não é um subcritério do Modelo AHP, mas foi utilizada no cálculo de alguns deles, sendo obtida a partir da equação abaixo:

$$ART_{T_n} = \Sigma\ RPPN_{T_n} + UC_{T_n} + MRA_{T_n} + QIA_{T_n} + URB_{T_n} + MIN_{T_n} + CH_{T_n}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 / *Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$ART_{T_n}$ = Área de Restrição Total / *Total Restricted Area* [km$^2$];
$RPPN_{T_n}$ = Área de Reserva Particular do Patrimônio Natural / *Private Natural Heritage Reserve Area* [km$^2$];
$UC_{T_n}$ = Área de Unidade de Conservação de Proteção Integral / *Full Protection Conservation Units Area* [km$^2$];
$MRA_{T_n}$ = Área de Mangue, Restinga e Apicum / *Mangrove, Restinga and Apicum Area* [km$^2$];
$QIA_{T_n}$ = Área de Terras Quilombolas, Indígenas e Assentamentos / *Quilombola, Indigenous Lands and Settlements Area* [km$^2$];
$URB_{T_n}$ = Área Urbana / *Urban Area* [km$^2$];
$MIN_{T_n}$ = Área de Mineração / *Mining Area* [km$^2$];
$CH_{T_n}$ = Área ocupada por Corpos Hídricos / *Area covered by Water Bodies* [km$^2$].

### A.4.1 Área de Recurso Eólico Disponível

O método de cálculo da área ocupada por parques eólicos levou em consideração a potência nominal de cada um dos empreendimentos e a densidade de potência eólica efetiva de 4,0 MW.km$^{-2}$, considerando aerogeradores com tecnologias atualmente disponíveis no mercado, sendo calculada a partir da equação abaixo:

$$A_{EOL_{T_n}} = \Sigma\ \frac{PN_{EOL_{T_n}}}{DPE_{EOL_{T_n}}}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 / *Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$A_{EOL_{T_n}}$ = Área de Parque Eólico / *Wind Farm Area* [km$^2$];
$PN_{EOL_{T_n}}$ = Potência nominal do Parque Eólico / *Wind Farm Nominal Power* [MW];
$DPE_{EOL_{T_n}}$ = Densidade de Potência Eólica Efetiva / *Effective Wind Power Density* [MW.km$^{-2}$].

Em seguida, foram suprimidas as áreas de restrição e áreas ocupadas por parques eólicos existentes e já contratados, conforme equação abaixo:

$$ARD_{EOL_{T_n}} = AVV_{EOL_{T_n}} - A_{T_n} - A_{EOL_{T_n}}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 / *Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$ARD_{EOL_{T_n}}$ = Área de Recurso Eólico Disponível / *Available Wind Resource Area* [km$^2$];
$AVV_{EOL_{T_n}}$ = Área com velocidade de ventos ≥ 7,0 m.s$^{-1}$ a 150 metros de altura / *Area where wind speed is ≥ 7,0 m.s$^{-1}$ at 150 meters height* [km$^2$];
$ART_{T_n}$ = Área de Restrição Total / *Total Restriction Area* [km$^2$];
$A_{EOL_{T_n}}$ = Área de Parque Eólico / *Wind Farm Area* [km$^2$].

### A.4.2 Área de Recurso Solar Disponível

O método de cálculo da área ocupada por usinas fotovoltaicas levou em consideração a potência nominal de cada um dos empreendimentos e a densidade de potência solar fotovoltaica efetiva de 4,0 MW.km$^{-2}$, considerando tecnologias de silício cristalino com sistemas fixos, sendo calculada a partir da equação abaixo:

$$A_{UFV_{T_n}} = \Sigma\ \frac{PN_{EOL_{T_n}}}{DPE_{EOL_{T_n}}}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 / *Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$A_{UFV_{T_n}}$ = Área de Usina Fotovoltaica / *Photovoltaic Power Plant Area* [km$^2$];
$PN_{EOL_{T_n}}$ = Potência nominal do Parque Eólico / *Wind Farm Nominal Power* [MW];
$DPE_{EOL_{T_n}}$ = Densidade de Potência Eólica Efetiva / *Effective Wind Power Density* [MW.km$^{-2}$].

Em seguida, foram suprimidas tanto as áreas de restrição quanto as áreas ocupadas por usinas fotovoltaicas existentes e já contratadas, conforme equação abaixo:

$$ARD_{SOL_{T_n}} = AGHI_{T_n} - ART_{T_n} - A_{UFV_{T_n}}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 / *Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$ARD_{SOL_{T_n}}$ = Área de Recurso Solar Disponível / *Available Solar Resource Area* [km$^2$];
$AGHI_{T_n}$ = Área com irradiação global horizontal / *Area with horizontal global irradiation* [km$^2$];
$ART_{T_n}$ = Área de Restrição Total / *Total Restriction Area* [km$^2$];
$A_{UFV_{T_n}}$ = Área de Usina Fotovoltaica / *Photovoltaic Power Plant Area* [km$^2$].

## A.4.3 Existência de Parque Eólico e/ou Usina Solar Fotovoltaica

Foi considerado o fator 1 (um) para existência e 0 (zero) para inexistência de Parque Eólico e/ou Usina Solar Fotovoltaica, conforme condições explicitadas nas equações abaixo:

$$FE_{T_n} = 1, \text{ se } UFV_{T_n} > 0 \text{ ou } PE_{T_n} > 0$$

$$FE_{T_n} = 0, \text{ se } UFV_{T_n} = 0 \text{ ou } PE_{T_n} = 0$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 / *Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$FE_{T_n}$ = Fator de Existência de Parque Eólico ou Usina Fotovoltaica / *Existence Factor of Wind Farm or Photovoltaic Plant;*
$UFV_{T_n}$ = Número de Usinas Fotovoltaicas / *Number (Quantity) of Photovoltaic Power Plants;*
$PE_{T_n}$ = Número de Parques Eólicos / *Number (Quantity) of Wind Farms.*

## A.4.4 Complementariedade Eólica e Solar

As áreas de interseção eólica e solar foram estimadas com base nas áreas de recurso eólico disponíveis com ventos a partir de 7 $m.s^{-1}$ a 150 metros de altura. Isso porque em todas essas áreas há incidência de radiação solar passível de aproveitamento para geração fotovoltaica.

## A.4.5 Recurso Hídrico Superficial – Quantidade

Para estimar a quantidade de recursos hídricos superficiais em cada um dos Territórios de Identidade (TIs), foram utilizados dados do Plano Estadual de Recursos Hídricos e os *shapes* das Regiões de Planejamento e Gestão das Águas (RPGAs) da Bahia. Os procedimentos realizados se basearam na relação direta de área aplicando os seguintes processamentos, cálculos e premissas:

1. Foram gerados clips/recortes de cada uma das 25 RPGAs;
2. A área total de cada uma dessas RPGAs foi calculada;
3. Foi feita uma sobreposição dos *shapes* das RPGAs e dos TIs e, em seguida, foram gerados clips/recortes dessa sobreposição para cada um dos TIs;
4. Para cada um dos clips/recortes dos TIs foram calculados os percentuais relativos às frações de área das diferentes RPGAs nele contidas (isso em relação à área total de cada RPGA);
5. Sabendo os valores de Disponibilidade Hídrica Superficial e Demandas Consuntivas das diferentes RPGAs, e considerando que esses valores correspondem a 100% da sua área, aplicou-se uma relação direta para encontrar os valores proporcionais a cada TI;
6. Desse modo, os valores de Disponibilidade Hídrica Superficial e Demandas Consuntivas de cada TI foram calculados como sendo o somatório das frações relativas às RPGAs que nele estão contidos.

Por fim, a quantidade de recurso hídrico superficial de cada um dos Territórios de Identidade do estado da Bahia foi calculada como sendo a diferença entre os valores de Disponibilidade Hídrica Superficial e Demandas Consuntivas em cada um deles. Vale ressaltar que o método anteriormente descrito é uma simplificação conceitual e matemática de um fenômeno natural de alta complexidade e, por isso, está sujeito a diversas incertezas. Entretanto, apesar das limitações, inclusive de disponibilidade de dados, mostrou-se eficiente para a avaliação proposta na escala espacial requerida, ou seja, para todo o estado da Bahia.

### *A.4.3 EXISTENCE OF WIND FARM AND/ OR SOLAR PHOTOVOLTAIC PLANT*

*It was considered the factor 1 (one) for existence and 0 (zero) for non-existence of Wind Farm and/or Solar Photovoltaic Plant, according to the conditions explained in the equation below:*

### *A.4.4 WIND AND SOLAR POWER COMPLEMENTARITY*

*The areas of wind and solar intersection were estimated based on the available wind resource areas with winds from 7 m.s-1 at 150 meters height. This is because in all these areas there is incidence of solar radiation that can be used for photovoltaic generation.*

### *A.4.5 SURFACE WATER RESOURCE – VOLUME*

*To estimate the volume of surface water resources in each of the Territories of Identity (TIs), data from the State Water Resources Plan and the shapes of the Water Planning and Management Regions (RPGAs) of Bahia State were used. The procedures performed were based on the direct area ratio applying the following processing, calculations and assumptions:*

1. *Clips/cuts were generated from each of the 25 RPGAs;*
2. *The total area of each of these RPGAs was calculated;*
3. *An overlay of the RPGAs' and the TIs' shapes was made, and then clips/cuts of this overlay were generated for each of the TIs;*
4. *For each of the clips/cuts of the TI, the relative percentages of the area fractions of the different RPGAs contained therein were calculated (relative to the total area of each RPGA);*
5. *Knowing the values of Surface Water Availability and Consumptive Demand of the different RPGAs, and considering that these values correspond to 100% of their area, a direct ratio was applied to find the proportional values for each TI;*
6. *Thus, the values of Surface Water Availability and Consumptive Demand of each TI were calculated as the sum of the fractions relative to the RPGAs that are contained therein.*

*Finally, the volume of surface water resources in each of the Territories of Identity in Bahia State was calculated as the difference between the values of Surface Water Availability and Consumptive Demand in each of them. It is worth noting that the method described above is a conceptual and mathematical simplification of a highly complex natural phenomenon, and therefore is subject to several uncertainties. However, despite the limitations, including data availability, it proved efficient for the proposed assessment at the required spatial scale, that is, for the entire Bahia State.*

*APPENDIX A*

# APÊNDICE A – EQUAÇÕES E MÉTODOS DE CÁLCULO

### A.4.6 SURFACE WATER RESOURCE – QUALITY

*To estimate the quality of surface water resources in each of the Territories of Identity, the Water Quality Index ("IQA") was used, according to the equation below:*

### A.4.7 GROUNDWATER RESOURCE – VOLUME

*To estimate the volume of groundwater resources in each of the Territories of Identity (TIs), hydrogeological data from Bahia State were used, more specifically the Bahia Aquifers shape. The procedures carried out were based on the direct area ratio applying the following processing, calculations and assumptions:*

*i. Clips/cuts from each of the 11 Aquifer Regions were generated;*

*ii. The total area of each of these Aquifer Regions was calculated;*

*iii. An overlay of the shapes of the Aquifer Regions and the TIs was made, and then clips/cuts of this overlay were generated for each of the TIs;*

*iv. For each of the clips/cuts of the TIs the relative percentages of the area fractions of the different Aquifer Regions contained therein were calculated (relative to the total area of each Aquifer Region);*

*v. Knowing the Groundwater Potentiality values of the different Aquifer Regions, and considering that these values correspond to 100% of their area, a direct ratio was applied to find the proportional values for each TI;*

*vi. Thus, the Groundwater Potential value of each TI was calculated as the sum of the fractions related to the Aquifer Regions that are contained in it.*

*It is worth noting that the method described above is a conceptual and mathematical simplification of a highly complex natural phenomenon, and therefore is subject to several uncertainties. However, despite the limitations, including data availability, it proved efficient for the proposed assessment at the required spatial scale, that is, for the entire Bahia State.*

### A.4.8 GROUNDWATER RESOURCE – QUALITY

*To estimate the quality of groundwater resources in each of the Territories of Identity, the Natural Groundwater Quality Index (IQNAS) was used, according to the equation below:*

### A.4.9 COASTAL WATER RESOURCE – MARINE

*The potential for capturing coastal marine water resources in each of the Territories of Identity was evaluated based on the conditions described below:*

- *0 = There is no coastal zone available for coastal marine water resource abstraction;*
- *1 = Provides a coastal zone for the abstraction of coastal marine water resources.*

### A.4.10 COASTAL WATER RESOURCE – ESTUARINE

*The potential for capturing coastal estuarine water resources in each of the Territories of Identity was evaluated based on the conditions described below:*

- *0 = There is no estuary available for coastal estuarine water resource abstraction;*
- *1 = Provides estuaries for the abstraction of estuarine coastal water resources.*

## A.4.6 Recurso Hídrico Superficial – Qualidade

Para estimar a qualidade dos recursos hídricos superficiais em cada um dos Territórios de Identidade, foi utilizado o Índice de Qualidade da Água (IQA), conforme equação abaixo:

$$IQA_{MED_{T_n}} = \frac{\Sigma IQA_{Est_{T_n}}}{Qtd_{IQA_{T_n}}}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 / *Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$IQA_{MED_{T_n}}$ = Média do Índice de Qualidade da Água do Território de Identidade / *Average of the Water Quality Index of the Territory of Identity;*
$IQA_{Est_{T_n}}$ = Valor de IQA obtido de uma estação fluviométrica / *IQA value obtained from a river gauge station;*
$Qtd_{IQA_{T_n}}$ = Quantidade de medições de IQA em determinado Território de Identidade / *Number of IQA measurements in a selected Territory of Identity.*

## A.4.7 Recurso Hídrico Subterrâneo – Quantidade

Para estimar a quantidade de recursos hídricos subterrâneos em cada um dos Territórios de Identidade (TIs), foram utilizados dados de hidrogeologia do estado da Bahia, mais especificamente o *shape* dos Aquíferos da Bahia. Os procedimentos realizados se basearam na relação direta de área aplicando os seguintes processamentos, cálculos e premissas:

i. Foram gerados clips/recortes de cada uma das 11 Regiões Aquíferas;

ii. A área total de cada uma dessas Regiões Aquíferas foi calculada;

iii. Foi feita uma sobreposição dos *shapes* das Regiões Aquíferas e dos TIs e, em seguida, foram gerados clips/recortes dessa sobreposição para cada um dos TIs;

iv. Para cada um dos clips/recortes dos TIs foram calculados os percentuais relativos às frações de área das diferentes Regiões Aquíferas nele contidas (isso em relação à área total de cada Região Aquífera);

v. Sabendo os valores de Potencialidade Hídrica Subterrânea das diferentes Regiões Aquíferas, e considerando que esses valores correspondem a 100% da sua área, aplicou-se uma relação direta para encontrar os valores proporcionais a cada TI;

vi. Desse modo, o valor de Potencialidade Hídrica Subterrânea de cada TI foi calculado como sendo o somatório das frações relativas às Regiões Aquíferas que nele estão contidos.

Vale ressaltar que o método acima descrito é uma simplificação conceitual e matemática de um fenômeno natural de alta complexidade e, por isso, está sujeito a diversas incertezas. Entretanto, apesar das limitações, inclusive de disponibilidade de dados, mostrou-se eficiente para a avaliação proposta na escala espacial requerida, ou seja, para todo o estado da Bahia.

## A.4.8 Recurso Hídrico Subterrâneo – Qualidade

Para estimar a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos em cada um dos Territórios de Identidade, foi utilizado o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS), conforme equação abaixo:

$$IQNAS_{MED_{T_n}} = \frac{\Sigma IQNAS_{P_{T_n}}}{Qtd_{IQNAS_{T_n}}}$$

Onde / *Where*:
$T_n$ = Território de Identidade com n = 1, 2, ..., 27 / *Territory of Identity where n = 1, 2, ..., 27;*
$IQNAS_{MED_{T_n}}$ = Média do Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas do Território de Identidade / *Average Natural Groundwater Quality Index of the Territory of Identity;*
$IQNAS_{P_{T_n}}$ = Valor de IQNAS obtido de um poço / *IQNAS value obtained from a well;*
$Qtd_{IQNAS_{T_n}}$ = Quantidade de medições de IQNAS em determinado Território de Identidade / *Number of IQNAS measurements in a determined Territory of Identity.*

## A.4.9 Recurso Hídrico Costeiro – Marinho

O potencial de captação de recurso hídrico costeiro marinho de cada um dos Territórios de Identidade foi avaliado a partir das condições descritas abaixo:

- 0 = Não há disponibilidade de zona litorânea para captação de recurso hídrico costeiro marinho;
- 1 = Dispõe de zona litorânea para captação de recurso hídrico costeiro marinho.

## A.4.10 Recurso Hídrico Costeiro – Estuarino

O potencial de captação de recurso hídrico costeiro estuarino de cada um dos Territórios de Identidade foi avaliado a partir das condições descritas abaixo:

- 0 = Não há disponibilidade de estuários para captação de recurso hídrico costeiro estuarino;
- 1 = Dispõe de estuários para captação de recurso hídrico costeiro estuarino.

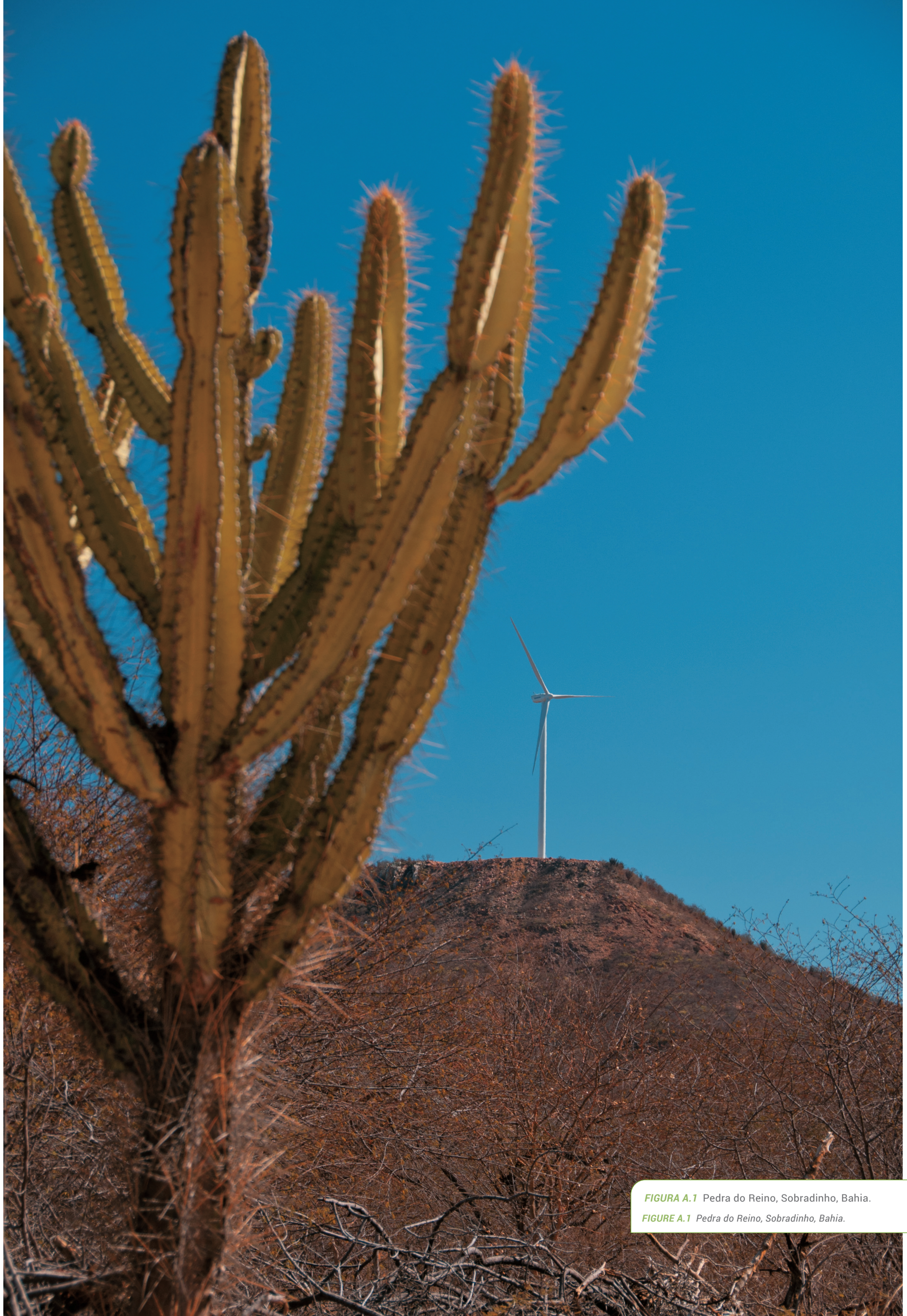


FOTO / *PHOTO*: ZIG KOCH

***FIGURA A.1*** Pedra do Reino, Sobradinho, Bahia.

***FIGURE A.1*** *Pedra do Reino, Sobradinho, Bahia.*

*APPENDIX B – AHP MODEL INPUT DATA*

# APÊNDICE B – DADOS DE ENTRADA DO MODELO AHP

| | TERRITÓRIO DE IDENTIDADE *TERRITORY OF IDENTITY* | ASPECTOS DE DESENVOLVIMENTO *DEVELOPMENT ASPECTS* | | | | | DISPONIBILIDADE DE INFRAESTRUTURA *INFRASTRUCTURE AVAILABILITY* | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SOCIAL *SOCIAL* | | ECONÔMICO *ECONOMIC* | | | DISTÂNCIA RODOVIÁRIA *ROAD DISTANCE* | | | DISTÂNCIA EM LINHA RETA *STRAIGHT LINE DISTANCE* | | LINHAS DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO *TRANSMISSION AND DISTRIBUTION NETWORKD* | | POTENCIAL DE ARMAZENA-MENTO *STORAGE POTENTIAL* |
| | | | | | FORÇA DE TRABALHO *Workforce* | | | | | | | | | |
| | | IFDM | IVS | IHH | **Formação de mão de obra especializada** *Training of qualified workforce* | **Mercado de trabalho na indústria** *Labor market in industry* | **Malha Rodoviária** *Road Network* | **Aeroportos** *Airports* | **Malha Ferroviária** *Railroad Network* | **Portos** *Ports* | **Malha Dutoviária** *Pipeline Network* | **Densidade Instalada** *Installed Density* | **Densidade Planejada** *Planned Density* | I |
| 1 | Irecê | 0,5345 | 0,4368 | 4,95 | 22 | 1,3 | 1 | 3 | 1 | 4 | 4 | 0,058 | 0,022 | 0,00 |
| 2 | Velho Chico | 0,5339 | 0,4674 | 0,00 | 20 | 0,8 | 1 | 1 | 5 | 4 | 5 | 0,042 | 0,013 | 0,00 |
| 3 | Chapada Diamantina | 0,5466 | 0,4597 | 0,00 | 21 | 1 | 1 | 3 | 5 | 3 | 4 | 0,044 | 0,020 | 0,00 |
| 4 | Sisal | 0,5364 | 0,4650 | 2,37 | 37 | 3,8 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0,030 | 0,001 | 0,00 |
| 5 | Litoral Sul | 0,5142 | 0,4079 | 0,37 | 47 | -1,3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0,094 | 0,003 | 0,57 |
| 6 | Baixo Sul | 0,5133 | 0,4570 | 0,10 | 30 | -1,2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0,064 | 0,000 | 0,00 |
| 7 | Extremo Sul | 0,5764 | 0,4251 | 0,06 | 16 | 1 | 1 | 5 | 2 | 1 | 6 | 0,028 | 0,016 | 0,29 |
| 8 | Médio Sudoeste da Bahia | 0,5153 | 0,3880 | 0,00 | 16 | 3,6 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 0,031 | 0,038 | 0,00 |
| 9 | Vale do Jiquiriçá | 0,5302 | 0,4563 | 0,01 | 24 | 0,2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 2 | 0,047 | 0,003 | 0,00 |
| 10 | Sertão do São Francisco | 0,5251 | 0,4277 | 0,14 | 31 | 0,4 | 1 | 5 | 1 | 4 | 5 | 0,042 | 0,004 | 0,14 |
| 11 | Bacia do Rio Grande | 0,5939 | 0,3520 | 0,00 | 32 | 0,4 | 1 | 1 | 1 | 8 | 8 | 0,029 | 0,007 | 0,00 |
| 12 | Bacia do Paramirim | 0,5690 | 0,4179 | 0,00 | 6 | 1,2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 5 | 0,024 | 0,001 | 0,00 |
| 13 | Sertão Produtivo | 0,6084 | 0,3797 | 7,55 | 30 | -0,1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 0,263 | 0,045 | 0,00 |
| 14 | Piemonte do Paraguaçu | 0,5247 | 0,4892 | 0,00 | 23 | 3,5 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0,089 | 0,030 | 0,00 |
| 15 | Bacia do Jacuípe | 0,5371 | 0,4461 | 0,00 | 24 | -0,4 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 0,032 | 0,000 | 0,00 |
| 16 | Piemonte da Diamantina | 0,5138 | 0,4478 | 4,72 | 17 | 2,2 | 1 | 4 | 3 | 4 | 4 | 0,062 | 0,005 | 0,00 |
| 17 | Semiárido Nordeste II | 0,5277 | 0,4772 | 0,52 | 23 | 0,6 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 0,089 | 0,027 | 0,00 |
| 18 | Litoral Norte e Agreste Baiano | 0,5318 | 0,4452 | 0,67 | 30 | -0,2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,100 | 0,026 | 0,29 |
| 19 | Portal do Sertão | 0,5736 | 0,3768 | 0,54 | 54 | 0,6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,053 | 0,014 | 0,00 |
| 20 | Sudoeste Baiano | 0,5501 | 0,3961 | 0,00 | 42 | 1,1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0,077 | 0,026 | 0,00 |
| 21 | Recôncavo | 0,6088 | 0,3877 | 0,10 | 38 | 1,3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0,074 | 0,007 | 0,00 |
| 22 | Médio Rio de Contas | 0,4951 | 0,4387 | 0,03 | 13 | 0,2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0,061 | 0,015 | 0,43 |
| 23 | Bacia do Rio Corrente | 0,5478 | 0,4058 | 0,00 | 23 | -1,8 | 1 | 1 | 2 | 6 | 7 | 0,122 | 0,040 | 0,00 |
| 24 | Itaparica | 0,6212 | 0,3938 | 0,00 | 9 | -1,2 | 1 | 5 | 1 | 3 | 4 | 0,058 | 0,007 | 0,00 |
| 25 | Piemonte Norte do Itapicuru | 0,5328 | 0,4342 | 14,48 | 21 | 3,4 | 1 | 4 | 2 | 3 | 4 | 0,065 | 0,012 | 0,00 |
| 26 | Metropolitano de Salvador | 0,6530 | 0,3536 | 63,06 | 200 | -0,2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,135 | 0,009 | 1,00 |
| 27 | Costa do Descobrimento | 0,6093 | 0,3905 | 0,60 | 17 | 0 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 0,057 | 0,005 | 0,00 |

| ASPECTOS AMBIENTAIS *ENVIRONMENT ASPECTS* | | | | | DISPONIBILIDADE DE RECURSOS *AVAILABILITY OF RESOURCES* | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ÁREAS DE RESTRIÇÃO *RESTRICTION AREAS* | | | POTENCIAL DE OCORRÊNCIA / ***POTENTIAL FOR OCCURRENCE*** | | ENERGIA RENOVÁVEL *RENEWABLE ENERGY* | | | | RECURSOS HÍDRICOS *WATER RESOURCES* | | | | | |
| | | | | | | | | | **Superficial** *Surface Water* | | **Subterrâneo** *Groundwater* | | **Costeiro** *Coastal Water* | |
| **Áreas Protegidas** *Protected Areas* | **Áreas Restritas** *Restricted Areas* | **Uso e Ocupação do Solo** *Land Use and Occupation* | **Cavidades Naturais** *Natural Cavities* | **Sítios Arqueológicos** *Archaeological Sites* | **Área de Recurso Eólico Disponível** *Available Wind Resource Area* | **Área de Recurso Solar Disponível** *Available Solar Resource Area* | **Existência de Parque Eólico ou Usina Fotovoltaica**[f] *Existence of wind farm or photovoltaic plant* | **Complementariedade Eólica e Solar** *Wind and Solar Complementarity* | **Quantidade** *Quantity* | **Qualidade** *Quality* | **Quantidade** *Quantity* | **Qualidade** *Quality* | **Quantidade** *Quantity* | **Qualidade** *Quality* |
| 0,00 | 2,53 | 1,47 | 1,303 | 1,860 | 15.893 | 21.985 | 1 | 15.893 | 1.453.777 | 61,22 | 808.334.560 | 36,30 | 0 | 0 |
| 0,03 | 11,86 | 2,03 | 0,216 | 0,215 | 6.231 | 38.717 | 1 | 6.231 | 2.300.181.701 | 67,44 | 2.404.353.127 | 56,45 | 0 | 0 |
| 6,86 | 4,55 | 1,91 | 1,188 | 0,824 | 9.194 | 26.239 | 1 | 9.194 | 702.829.731 | 69,56 | 700.819.806 | 50,32 | 0 | 0 |
| 0,03 | 3,70 | 3,48 | 0,000 | 0,031 | 459 | 17.915 | 1 | 459 | 391.974.657 | 65,06 | 844.859.942 | 16,37 | 0 | 0 |
| 6,39 | 10,63 | 3,35 | 0,147 | 0,678 | 61 | 11.742 | 0 | 61 | 106.139.644 | 68,03 | 515.699.501 | 40,40 | 1 | 1 |
| 6,56 | 4,31 | 5,48 | 0,030 | 2,707 | 0 | 6.244 | 0 | 0 | 436.420.843 | 67,56 | 337.994.807 | 71,28 | 1 | 1 |
| 3,51 | 3,98 | 2,91 | 0,000 | 0,427 | 4.624 | 15.621 | 0 | 4.624 | 1.968.964.788 | 54,93 | 1.210.825.851 | 77,55 | 1 | 1 |
| 0,00 | 0,32 | 2,98 | 0,033 | 0,000 | 49 | 11.300 | 0 | 49 | 118.450.360 | 54,93 | 540.241.181 | 31,11 | 0 | 0 |
| 0,53 | 2,62 | 1,58 | 0,000 | 0,073 | 2.469 | 10.131 | 0 | 2.469 | 531.428.679 | 64,72 | 259.423.846 | 29,15 | 0 | 0 |
| 5,49 | 1,65 | 5,99 | 0,082 | 0,388 | 34.461 | 58.903 | 1 | 34.461 | 38.792.935 | 65,34 | 2.087.715.068 | 30,66 | 0 | 0 |
| 1,03 | 2,85 | 0,45 | 0,258 | 0,116 | 4.724 | 72.813 | 1 | 4.724 | 5.902.133.246 | 70,38 | 15.547.623.287 | 64,81 | 0 | 0 |
| 0,02 | 0,00 | 3,57 | 0,183 | 0,667 | 799 | 8.281 | 0 | 799 | 13.652.385 | 64,38 | 79.803.142 | 43,15 | 0 | 0 |
| 1,93 | 0,24 | 3,43 | 0,515 | 1,691 | 4.159 | 20.783 | 1 | 4.159 | 172.413.171 | 62,15 | 572.634.175 | 40,14 | 0 | 0 |
| 0,00 | 4,04 | 2,52 | 0,091 | 0,176 | 636 | 16.186 | 0 | 636 | 595.961.470 | 66,80 | 119.254.444 | 33,71 | 0 | 0 |
| 0,00 | 1,44 | 1,60 | 0,000 | 0,035 | 0 | 10.868 | 0 | 0 | 354.133.175 | 60,02 | 141.393.431 | 13,24 | 0 | 0 |
| 0,25 | 2,31 | 3,27 | 1,165 | 1,478 | 5.000 | 10.146 | 1 | 5.000 | 76.956.328 | 64,87 | 296.467.932 | 46,38 | 0 | 0 |
| 3,94 | 4,10 | 1,46 | 0,395 | 0,218 | 1.669 | 14.452 | 0 | 1.669 | 103.393.393 | 65,39 | 2.726.988.291 | 51,54 | 0 | 0 |
| 0,79 | 1,21 | 2,34 | 0,000 | 0,224 | 51 | 12.435 | 0 | 51 | 763.581.373 | 64,43 | 1.692.087.653 | 69,33 | 1 | 0 |
| 0,00 | 2,51 | 6,35 | 0,019 | 0,116 | 65 | 5.292 | 0 | 65 | 388.591.584 | 58,55 | 368.801.479 | 46,82 | 0 | 0 |
| 0,00 | 1,34 | 2,55 | 0,111 | 0,162 | 4.004 | 25.907 | 1 | 4.004 | 238.187.497 | 67,92 | 782.513.112 | 44,73 | 0 | 0 |
| 1,93 | 4,93 | 11,85 | 0,103 | 2,600 | 10 | 3.682 | 0 | 10 | 249.859.816 | 56,91 | 246.312.587 | 54,10 | 0 | 0 |
| 2,80 | 0,37 | 2,56 | 5,168 | 0,907 | 1.032 | 9.026 | 0 | 1.032 | 149.668.915 | 58,05 | 137.542.323 | 46,27 | 0 | 0 |
| 5,64 | 1,82 | 0,77 | 0,000 | 0,087 | 521 | 42.445 | 1 | 521 | 7.062.722.486 | 73,25 | 10.351.797.536 | 64,77 | 0 | 0 |
| 4,01 | 7,28 | 3,35 | 0,004 | 0,197 | 5.702 | 10.604 | 0 | 5.702 | 1.253.240 | 75,34 | 1.114.917.668 | 33,54 | 0 | 1 |
| 2,76 | 2,43 | 2,87 | 0,719 | 0,797 | 4.625 | 12.018 | 1 | 4.625 | 74.608.365 | 69,25 | 269.036.955 | 28,98 | 0 | 0 |
| 2,32 | 2,30 | 32,14 | 0,045 | 2,892 | 0 | 2.577 | 0 | 0 | 325.819.185 | 59,49 | 540.813.943 | 79,50 | 1 | 1 |
| 7,26 | 6,77 | 3,85 | 0,032 | 0,866 | 175 | 9.634 | 0 | 175 | 786.883.886 | 65,62 | 665.649.635 | 80,38 | 1 | 1 |

# APÊNDICE C – COMPOSIÇÃO DOS CENÁRIOS

**CONFIGURAÇÃO DOS SUBCRITÉRIOS ADOTADOS PARA CADA UM DOS CENÁRIOS HIPOTÉTICOS**
*CONFIGURATION OF THE SUB-CRITERIA ADOPTED FOR EACH OF THE HYPOTHETICAL SCENARIOS*

| **CRITÉRIO** / CRITERIA | **SUBCRITÉRIOS** / SUB-CRITERIA | | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ASPECTOS DE DESENVOLVIMENTO** *DEVELOPMENT ASPECTS* | SOCIAL *SOCIAL* | **IFDM** | | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | | **IVS** | | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | ECONÔMICO *ECONOMIC* | **IHH** | | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | | **FORÇA DE TRABALHO** *Workforce* | **Formação de mão de obra especializada** *Training of qualified workforce* | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | | | **Mercado de trabalho na indústria** *Labor market in industry* | X | X | X | X | X | X | X | X |
| **ASPECTOS AMBIENTAIS** *ENVIRONMENT ASPECTS* | ÁREAS DE RESTRIÇÃO *RESTRICTION AREAS* | **Áreas Protegidas** / *Protected Areas* | | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | | **Áreas Restritas** / *Restricted Areas* | | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | | **Uso e Ocupação do Solo** / *Land Use and Occupation* | | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | POTENCIAL DE OCORRÊNCIA *POTENTIAL FOR OCCURRENCE* | **Cavidades Naturais** / *Natural Cavities* | | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | | **Sítios Arqueológicos** / *Archaeological Sites* | | X | X | X | X | X | X | X | X |
| **DISPONIBILIDADE DE INFRAESTRUTURA** *INFRASTRUCTURE AVAILABILITY* | DISTÂNCIA RODOVIÁRIA *ROAD DISTANCE* | **Malha Rodoviária** / *Road Network* | | | X | | X | | X | | X |
| | | **Aeroportos** / *Airports* | | | X | | X | | X | | X |
| | | **Malha Ferroviária** / *Railroad Network* | | | X | | X | | X | | X |
| | DISTÂNCIA EM LINHA RETA *STRAIGHT LINE DISTANCE* | **Portos** / *Ports* | | | X | | X | | X | | X |
| | | **Malha Dutoviária** / *Pipeline Network* | | | X | | X | | X | | X |
| | LINHAS DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO *TRANSMISSION AND DISTRIBUTION NETWORK* | **Densidade Instalada** / *Installed Density* | | | | X | X | | | X | X |
| | | **Densidade Planejada** / *Planned Density* | | | | X | X | | | X | X |
| | POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO *STORAGE POTENTIAL* | – | | | X | | X | | X | | X |
| **DISPONIBILIDADE DE RECURSOS** *AVAILABILITY OF RESOURCES* | ENERGIA RENOVÁVEL *RENEWABLE ENERGY* | **Área de Recurso Eólico Disponível** *Available Wind Resource Area* | | X | X | | | X | X | | |
| | | **Área de Recurso Solar Disponível** *Available Solar Resource Area* | | X | X | | | X | X | | |
| | | **Existência de Parque Eólico ou Usina Fotovoltaica** *Existence of wind farm or photovoltaic plant* | | X | X | | | X | X | | |
| | | **Complementariedade Eólica e Solar** *Wind and Solar Complementarity* | | X | X | | | X | X | | |
| | RECURSOS HÍDRICOS *WATER RESOURCES* | **Superficial** / *Surface Water* | **Quantidade** / *Quantity* | X | X | X | X | | | | |
| | | | **Qualidade** / *Quality* | X | X | X | X | | | | |
| | | **Subterrâneo** / *Groundwater* | **Quantidade** / *Quantity* | X | X | X | X | | | | |
| | | | **Qualidade** / *Quality* | X | X | X | X | | | | |
| | | **Costeiro** / *Coastal Water* | **Quantidade** / *Quantity* | X | X | X | X | | | | |
| | | | **Qualidade** / *Quality* | X | X | X | X | | | | |

**CENÁRIOS HIPOTÉTICOS** / ***HYPOTHETICAL SCENARIOS***

| | | | |
|---|---|---|---|
| **C1** | Off-grid | Consumo local<br>*Local Consumption* | $H_2O$ - Recurso limitante<br>*$H_2O$ - Limiting Resource* |
| **C2** | Off-grid | Consumo externo<br>*External Consumption* | $H_2O$ - Recurso limitante<br>*$H_2O$ - Limiting Resource* |
| **C3** | On-grid | Consumo local<br>*Local Consumption* | $H_2O$ - Recurso limitante<br>*$H_2O$ - Limiting Resource* |
| **C4** | On-grid | Consumo externo<br>*External Consumption* | $H_2O$ - Recurso limitante<br>*$H_2O$ - Limiting Resource* |
| **C5** | Off-grid | Consumo local<br>*Local Consumption* | $H_2O$ - Recurso abundante<br>*$H_2O$ - Abundant Resource* |
| **C6** | Off-grid | Consumo externo<br>*External Consumption* | $H_2O$ - Recurso abundante<br>*$H_2O$ - Abundant Resource* |
| **C7** | On-grid | Consumo local<br>*Local Consumption* | $H_2O$ - Recurso abundante<br>*$H_2O$ - Abundant Resource* |
| **C8** | On-grid | Consumo externo<br>*External Consumption* | $H_2O$ - Recurso abundante<br>*$H_2O$ - Abundant Resource* |

REFERENCES

# REFERÊNCIAS

## 1 THE STATE OF BAHIA
## O ESTADO DA BAHIA


[1] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Divisão Territorial Brasileira**. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br. Acesso em: 17 mar. 2023.

[2] AWS TRUEPOWER; CAMARGO SCHUBERT; FIEB/SENAI CIMATEC. **Bahia: Atlas Solar.** Curitiba: Camargo Schubert; Salvador: SECTI: SEINFRA: CIMATEC/ SENAI, 2018. p. 76.

[3] NEGRÃO, F. I. **Hidrogeologia do Estado da Bahia: qualidade, potencialidade, disponibilidade, vulnerabilidade e grau de poluição.** Universidade da Coruña, Tese de Doutorado, 2008. p. 195.

[4] ALCOFORADO, F. **Os Condicionantes do Desenvolvimento do Estado da Bahia.** Universidade de Barcelona, Tese de Doutorado, 2003.

[5] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estimativas de População em 2021.** Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 26 mar. 2023.

[6] SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS – SEI. **Demografia estimada em 2022.** Disponível em: https://infovis.sei.ba.gov.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[7] SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS – SEI. **PIB e Estudos Correlatos – PIB Estadual Anual em 2022.** Disponível em: https://sei.ba.gov.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[8] FIRJAN. **Análise Especial IFDM 2018 | Ano Base 2016: Bahia.** Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://www.firjan.com.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[9] SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS – SEI. **Info Bahia.** 2023. Disponível em: https://sei.ba.gov.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[10] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Industrial Anual – Empresa. Valor Bruto da Produção Industrial em 2022.** Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[11] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Rede de Drenagem: Base Hidrográfica Ottocodificada 2017 50K – Trecho de drenagem.** 2017. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br> Acesso em: 04 jul. 2023.

[12] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Geoportal – Mapas Interativos.** Disponível em: https://mapasinterativos-geoportal-ibge.hub.arcgis.com. Acesso em: 18 maio 2023.

[13] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Massas D'água: Bases cartográficas contínuas – Brasil.** 2021. Disponível em: <https://ibge.gov.br/> 10 abr. 2023.

[14] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Unidades da Federação: Malha Municipal.** 2021. Disponível em: <https://ibge.gov.br/> 10 abr. 2023.

[15] INVESTE BAHIA: SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO ESTADO DA BAHIA – SDE. **Guia Industrial.** Disponível em: www.investebahia.com. Acesso em: 27 mar. 2023.

[16] SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS – SEI. **Territórios de Identidade – Arquivos Vetoriais.** 2019. Disponível em: <https://sei.ba.gov.br/> 17 jul. 2023.

[17] BAHIA: PREFEITURA MUNICIPAL DE FEIRA DE SANTANA. **Comércio, Indústria e Serviços: Centro Industrial do Subaé.** Disponível em: https://conhecafeira.com.br. Acesso em: 27 mar. 2023.

[18] ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI. **ArcGIS Pro.** Software, 2022. Disponível em: <www.esri.com>

[19] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL; SUPERINTENDÊNCIA DE ENERGIA E COMUNICAÇÃO DA SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DA BAHIA – SUPEC-SEINFRA/BA. **SIGA - Sistema de Informações de Geração da ANEEL.** Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[20] EMPRESA BRASILERA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Webmap. Sistema de Informações do Setor Elétrico Brasileiro.** Disponível em: gisepeprd2.epe.gov.br. Acesso em: 10 abr. 2023

[21] NEONERGIA COELBA. **Dados do Sistema Elétrico Baiano.** Salvador, 2022. Disponibilizados por meio de planilhas digitais.

[22] SUPERINTENDÊNCIA DE ENERGIA E COMUNICAÇÃO DA SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DA BAHIA – SUPEC-SEINFRA/BA. **Dados do Sistema Elétrico Baiano.** Salvador, 2022. Disponibilizados por meio de planilhas digitais.

[23] G1 BAHIA. **Jandaira e Rio Real são as únicas cidades da Bahia que não têm serviços de energia elétrica distribuidos pela COELBA.** Disponível em: https://g1.globo.com. Acesso em: 18 maio 2023.

[24] AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DO ESTADO DE SERGIPE – AGRESE. **Distribuidoras – SULGIPE.** Disponível em: https://agrese.se.gov.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[25] NEOENERGIA COLEBA. **Quem Somos.** Disponível em: https://neoenergiacoelba.com.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[26] COMITÊ DE FOMENTO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI – COFIC. **Polo Industrial de Camaçari.** Disponível em: www.coficpolo.com.br. Acesso em: 27 mar. 2023.

[27] OBSERVATÓRIO NACIONAL DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA – ONTL. **Shapefile de Dutoviário.** 2018. Disponível em: https://ontl2.epl.gov.br. Acesso em: 27 mar. 2023.

[28] TRANSPORTADORA ASSOCIADA DE GÁS S.A. – TAG. **Sobre a TAG.** Disponível em: https://ntag.com.br. Acesso em: 26 mar. 2023.

[29] OBSERVATÓRIO NACIONAL DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA – ONTL. **Mapa Dutoviário | Anuário Estatístico 2010 – 2021.** Disponível em: https://ontl.epl.gov.br. Acesso em: 26 mar. 2023.

[30] PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. – PETROBRAS. **Terminais e Oleodutos.** Disponível em: https://petrobras.com.br. Acesso em: 25 mar. 2023.

[31] OBSERVATÓRIO NACIONAL DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA – ONTL. **Diagnóstico Logístico:** 2010 – 2018. 2018. Disponível em: https://ontl.infrasa.gov.br. Acesso em: 26 mar. 2023.

[32] UNIGEL. **Relatório de Sustentabilidade.** 2021. Disponível em: https://ri.unigel.com.br. Acesso em: 25 mar. 2023.

[33] HATJE, V.; ANDRADE, J. B. **Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos.** Salvador: EDUFBA, 2009.

[34] COMPANHIA DAS DOCAS DO ESTADO DA BAHIA – CODEBA. **Plano de Desenvolvimento e Zoneamento (PDZ) do Porto Organizado de Salvador.** 2022. Disponível em: www.codeba.gov.br. Acesso em: 24 mar. 2023.

[35] SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DA BAHIA – SEINFRA. **Novas marinas na Baía de Todos-os-Santos ganham infraestrutura moderna para atrair mais visitantes.** 2020. Disponível em: www.infraestrutura.ba.gov.br. Acesso em: 24 mar. 2023.

[36] COMPANHIA DAS DOCAS DO ESTADO DA BAHIA – CODEBA. **Portos.** Disponível em: www.codeba.gov.br. Acessado em: 24 mar. 2023.

[37] MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Mapa Portuário.** 2019. Disponível em: www.infraestrutura.gov.br. Acesso em: 24 mar. 2023.

[38] SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO ESTADO DA BAHIA – SDE. **Infraestrutura.** Disponível em: www.investebahia.com. Acesso em: 25 mar. 2023.

[39] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Hidrovia do São Franciso.** Disponível em: www.dnit.gov.br. Acesso em: 25 mar. 2023.

[40] MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Mapa Hidroviário.** 2019. Disponível em: https://www.infraestrutura.gov.br. Acesso em: 24 mar. 2023.

[41] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Eclusa de Sobradinho.** Disponível em: www.dnit.gov.br. Acesso em: 28 mar. 2023.

[42] BAHIA PILOTS PRATICAGEM. **Portos e Terminais: Zonas de Praticagem.** Disponível em: https://bahiapilots.com.br. Acesso em: 25 mar. 2023.

[43] BAHIA: CASA CIVIL. **Porto Sul: Implantação sob a regência da MP 595/12.** Disponível em: www.senado.leg.br. Acesso em: 25 mar. 2023.

[44] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Rodovias Federais.** 2022. Disponível em: https://servicos.dnit.gov.br. Acesso em: 28 mar. 2023.

[45] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Rodovias Estaduais.** 2021. Disponível em: https://servicos.dnit.gov.br. Acesso em: 28 mar. 2023.

[46] CAMARGO SCHUBERT et al. **Bahia: Atlas Eólico.** Curitiba : Camargo Schubert ; Salvador: SECTI : SEINFRA : CIMATEC/ SENAI, 2013. 96 p.

[47] VIABAHIA CONCESSIONÁRIA DE RODOVIAS S.A. **Institucional.** Disponível em: https://viabahiasa.com.br. Acesso em: 26 mar. 2023.

[48] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Mapa de Condição da Manutenção.** 2023. Disponível em: www.dnit.gov.br. Acesso em: 26 mar. 2023.

[49] PROGRAMA DE PARCERIAS DE INVESTIMENTOS – PPI. **Casa Civil da Presidência da República: Projetos em Andamento.** Disponível em: www.ppi.gov.br. Acesso em: 26 mar. 2023.

[50] SECRETARIA DE INFRASETRUTURA DO ESTADO DA BAHIA – SEINFRA. **Plano Diretor de Logística do Estado da Bahia – PDLT.** 2019. Disponível em: http://www.infraestrutura.ba.gov.br. Acesso em: 24 mar. 2023.

[51] AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Lista de Aeródromos Civis Cadastrados.** 2023. Disponível em: www.anac.gov.br. Acesso em: 24 mar. 2023.

[52] SALVADOR BAHIA AIRPORT. **Institucional.** Disponível em: www.salvador-airport.com.br. Acesso em: 24 mar. 2023.

[53] DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO – DECEA. **Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo**. 2022. Disponível em: www.anac.gov.br. Acesso em: 24 mar. 2023.

[54] AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Portaria Nº 4.601/SIA, de 23 mar. 2021**. Disponível em: https://pergamum.anac.gov.br. Acesso em: 24 mar. 2023.

[55] AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS – ANTAQ. **Instalações Portuárias Outorgadas.** Shape e Mapas, 2021. Disponível em: <www.antaq.gov.br> Acesso em: 04 jul. 2023.

[56] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Localidades.** 2010. Disponível em: <https://ibge.gov.br/> 17 jul. 2023.

[57] SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS – SEI. **Habitantes: Estimativa municipios.** 2021. Disponível em: <https://ftp.sei.ba.gov.br/> 17 jul. 2023.

## 2 CONCEPTS & TECHNOLOGIES
## CONCEITOS E TECNOLOGIAS

[1] ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. **Hydrogen**. 28 fev. 2023. Disponível em: www.britannica.com. Acesso em: 1 abr. 2023.

[2] NATIONAL HYDROGEN ASSOCIATION. **History of Hydrogen Timeline.** New York State Energy Research and Development Authority, 2010. Disponível em: www.hydrogenassociation.org. Acesso em: 21 maio 2023.

[3] BRITISH BALLOON AND AIRSHIP CLUB – BBAC. **History of Ballooning.** Disponível em: https://bbac.org. Acesso em: 03 abr. 2023.

[4] NATIONAL GEOGRAPHIC. **O balão de ar quente e a conquista dos céus.** 14 jul. 2022. Disponível em: https://nationalgeographic.pt. Acesso em: 20 maio 2023.

[5] NASCIMENTO, C. K.; BRAGA, J. P. **A visita de Fritz Haber ao Brasil.** Revista Química Nova na Escola, 03 fev. 2021. Disponível em: https://quimicanova.sbq.org.br. Acesso em: 20 maio 2023.

[6] SILVA, A. N.; PATACA, E. M. **O ensino de equilíbrio químico a partir dos trabalhos do cientista alemão Fritz Haber na síntese da amônia e no programa de armas químicas durante a Primeira Guerra Mundial.** Revista Química Nova na Escola, 19 jun. 2017.

[7] SORENSEN, B.; GIUSEPPE, S. **Hydrogen and Fuel Cells – Emerging Technologies and Applications.** 3ª ed. Elsevier Science, 2018.

[8] FUEL CELLS AND HYDROGEN JOINT UNDERTAKING – FCH JU. **Fuel Cells and Hydrogen.** Disponível em: http://www.fch.europa.eu. Acesso em: 3 abr. 2023.

[9] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **The Future of Hydrogen.** 2019. Disponível em: www.iea.org. Acesso em: 3 abr. 2023.

[10] FISACAR. **Futuro Automóvel: Hidrogênio como alternativa ao elétrico?** Blog FISAcar, 25 out. 2021. Disponível em: www.fisacar.com. Acesso em: 20 maio 2023.

[11] INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Panorama do hidrogênio no Brasil.** 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br. Acesso em: 18 abr. 2023.

[12] WORLD RESOURCES INSTITUTE – WRI. **6 Takeaways from the 2022 IPCC Climate Change Mitigation Report.** 4 abr. 2022. Disponível em: www.wribrasil.org.br. Acesso em: 20 maio 2023.

[13] INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY – IRENA. **Hydrogen from renewable power**: Technology outlook for the energy transition. 2018. Disponível em: www.irena.org. Acesso em: 20 maio 2023.

[14] MSCI. **Global Progress Towards the Paris Agreement**. 2021. Disponível em: www.msci.com. Acesso em: 20 maio 2023.

[15] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Nota Técnica – Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio.** Ministério de Minas e Energia – MME, 23 fev. 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br. Acesso em: 7 set. 2022.

[16] BAHIA. Decreto nº 21.200 de 02 de março de 2022. Institui o Plano Estadual para a Economia do Hidrogênio Verde – PLEH2V, na forma que indica, e dá outras providências. Disponível em: www.meioambiente.ba.gov.br. Acesso em: 20 maio 2023.

[17] CHENG, W.; LEE, S. **How Green Are the National Hydrogen Strategies?** Sustainability, v. 14, n. 3, p. 1930, fev. 2022.

[18] CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Hidrogênio sustentável:** perspectivas e potencial para a indústria brasileira. ago. 2022. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br. Acesso em: 6 set. 2022.

[19] FAERMAN, H. **Hidrogênio avança e players aguardam regulação no Brasil.** Portal Hidrogênio Verde. Disponível em: www.h2verdebrasil.com.br. Acesso em: 6 set. 2022.

[20] AL-QAHTANI, A. *et al*. **Uncovering the true cost of hydrogen production routes using life cycle monetisation.** Applied Energy, v. 281, p. 115958, 2021.

[21] Guarieiro, L. L. N. *et al*. **Technological Perspectives and Economic Aspects of Green Hydrogen in the Energetic Transition:** Challenges for Chemistry. J. Braz. Chem. Soc., v. 33, no. 8, p. 844-869, 2022.

[22] Kamaroddin, M. F. A. *et al*. **Membrane-based electrolysis for hydrogen production:** A review. Membranes (Basel)., v. 11, no. 11, p. 1-27, 2021.

[23] TURSI, A. **A review on biomass:** importance, chemistry, classification, and conversion. Biofuel Research Journal, v. 6, n. 2, p. 962, 2019.

[24] AZIZ, M. *et al*. **Hydrogen production from biomasses and wastes:** A technological review. International Journal of Hydrogen Energy, v. 46, n. 68, p. 33756-33781, 2021.

[25] BUFFI, M. *et al*. **Energy and environmental assessment of hydrogen from biomass sources:** Challenges and perspectives. Biomass and Bioenergy, v. 165, p. 106556, 2022.

[26] LEPAGE, T. *et al*. **Biomass-to-hydrogen:** A review of main routes production, processes evaluation and techno-economical assessment. Biomass and Bioenergy, v. 144, p. 105920, 2021.

REFERENCES
# REFERÊNCIAS


[27] TAIPABU, M. *et al*. **A critical review of the hydrogen production from biomass-based feedstocks:** Challenge, solution, and future prospect. Process Safety and Environmental Protection, v. 164, p. 384-407, 2022.

[28] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment.** ISO Standard No. 16290:2013. Disponível em: www.iso.org. Acesso em: 22 maio 2023.

[29] MILLER, S. A. **The role of cement service-life on the efficient use of resources.** Environmental Research Letters, v. 15, n. 2, 20, 2020.

[30] PINSKY, R. *et al*. **Comparative review of hydrogen production technologies for nuclear hybrid energy systems.** Progress in Nuclear Energy, v. 123, p. 103317, 2020.

[31] VARELA, C. *et al*. **Modeling alkaline water electrolysis for power-to-x applications:** A scheduling approach. International journal of hydrogen energy, v. 46, n. 14, p. 9303-9313, 2021.

[32] SCHLAPBACH, L.; ZÜTTEL, A. Hydrogen-storage materials for mobile applications. Nature, v. 414, n. 6861, p. 353-358, 2001.

[33] MORADI, R.; GROTH, K. M. **Hydrogen storage and delivery:** Review of the state of the art technologies and risk and reliability analysis. International Journal of Hydrogen Energy, v. 44, n. 23, p. 12254-12269, 2019.

[34] ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY – EERE. **Hydrogen Storage.** Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office. Disponível em: www.energy.gov. Acesso: 18 mar. 2023.

[35] VARGAS, R. A. *et al*. **Hidrogênio:** O Vetor Energético do futuro? Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, 2006.

[36] AMARAL, M. M. **Avaliação técnica do transporte e do armazenamento de hidrogénio visando a descarbonização do sistema energético nacional.** Universidade Nova de Lisboa, Engenharia de Energias Renováveis, Dissertação de Mestrado, 2021. p. 89.

[37] NIERMANN, M. *et al*. **Liquid Organic Hydrogen Carriers and alternatives for international transport of renewable hydrogen.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 135, p. 110171, 2021.

[38] LOTOTSKYY, M. V. *et al*. **Metal hydride hydrogen compressors:** a review. International Journal of Hydrogen Energy, v. 39, n. 11, p. 5818-5851, 2014.

[39] GONZATTI, F. *et al*. **Fundamentos para concepção, controle e automação de uma planta armazenadora de energia utilizando hidrogênio.** Universidade Federal de Santa Maria, Engenharia Elétrica – Processamento de Energia, Tese de Doutorado, 2017. p. 186.

[40] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Energy Technology Perspectives 2020.** 2021. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net. Acesso: 20 maio 2023.

[41] LINDE. **Our H2 Technologies:** Innovating for a cleaner future. 2021. Disponível em: www.lindehydrogen.com. Acesso: 20 maio 2023.

[42] BIRKITT, K. *et al*. **Materials aspects associated with the addition of up to 20 mol% hydrogen into an existing natural gas distribution network.** International Journal of Hydrogen Energy, v. 46, n. 23, p. 12290-12299, 2021.

[43] SHELL DEUTSCHLAND OIL GMBH. **Shell Hydrogen Study:** Energy of the Future? 2017. Disponível em: www.shell.com/hydrogen. Acesso: 20 maio 2023.

[44] JALLAIS, S. **LH2 Installation Description.** Pre-normative REsearch for Safe use of Liquid Hydrogen – PRESLHY, 2018. Disponível em: www.hysafe.info. Acesso: 20 maio 2023.

[45] BLOOMBERG NEF. **Hydrogen Economy Outlook, Key messages.** Mar. 2020. Disponível em: https://data.bloomberglp.com. Acesso: 20 maio 2023.

[46] BLENKEY, N. **Hydrogen tanker concept aims to revolutionize green energy market.** MarineLog, 3 maio 2022. Disponível em: https://www.marinelog.com. Acesso em: 30 mar. 2023.

[47] EDP. **Conheça os superpoderes do hidrogênio.** Disponível em: www.edp.com. Acesso em: 6 abr. 2023.

[48] BRASIL. Projeto de Lei nº 725, de 2022. Disciplina a inserção do hidrogênio como fonte de energia no Brasil, e estabelece parâmetros de incentivo ao uso do hidrogênio sustentável. Disponível em: www25.senado.leg.br. Acesso em: 21 maio 2023.

[49] BRASIL. Resolução nº 6, de 23 de junho de 2022. Institui o Programa Nacional do Hidrogênio, cria o Comitê Gestor do Programa Nacional do Hidrogênio, e dá outras providências. Disponível em: www.gov.br. Acesso em: 21 maio 2023.

[50] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2021.** Nota Técnica, Ministério de Minas e Energia, 2022. Disponível em: www.epe.gov.br. Acesso em: 21 maio 2023.

[51] WORLD ENERGY COUNCIL – WEC. **Global Harmonisation of Hydrogen Certification:** Overview of global regulations and standards for renewable hydrogen. German Energy Agency, Jan. 2022. Disponível em: https://www.dena.de. Acesso em: 6 set. 2022.

[52] ABAD, A. V.; DODDS, P. E. **Green hydrogen characterisation initiatives:** Definitions, standards, guarantees of origin, and challenges. Energy Policy, v. 138, p. 111300, 2020.

[53] WORLD KINECT ENERGY SERVICES. **Guarantee of Origin System.** Disponível em: www.trackmyelectricity.com. Acesso em: 6 set. 2023.

[54] INSTITUTO TOTUM. **Benchmarking I-Rec E Rec Brazil.** 2020. Disponível em: www.recbrazil.com.br. Acesso em: 23 maio 2023.

[55] UNIGEL. **Unigel e FURNAS celebram negócio de 1 milhão de certificados de energia renovável.** 15 fev. 2022. Disponível em: www.unigel.com.br. Acesso em: 23 maio 2023.


ENVIRONMENT
# 3 MEIO AMBIENTE


[1] BRASIL. Código Florestal Brasileiro. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 1 jun. 2023.

[2] BRASIL. Lei nº 99.274, de 6 de junho de 1990. Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente, sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 1 jun. 2023.

[3] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: www.mma.gov.br. Acesso em: 1 jun. 2023.

[4] CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Institui o Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA. Disponível em: www.mma.gov.br. Acesso em: 1 jun. 2023.

[5] BAHIA. Lei nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a Política de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia e dá outras providências. Disponível em: www.seia.ba.gov.br. Acesso em: 1 jun. 2023.

[6] BAHIA. Lei nº 11.612, de 8 de outubro de 2009. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em: www.seia.ba.gov.br. Acesso em: 1 jun. 2023.

[7] BAHIA. Lei n° 12.932, de 7 de janeiro de 2014. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e dá outras providências. Disponível em: www.seia.ba.gov.br. Acesso em: 1 jun. 2023.

[8] INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA. Outorga. Disponível em: www.seia.ba.gov.br. Acesso em: 1 jun. 2023.

[9] INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA. Portaria INEMA nº 28.093/2023.

[10] CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – COEMA. Resolução COEMA no 3, de 10 de fevereiro de 2022. Dispõe sobre os procedimentos, critérios e parâmetros aplicáveis ao Licenciamento Ambiental no âmbito da Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE para empreendimentos de produção de hidrogênio verde no estado do Ceará. Disponível em: www.semace.ce.gov.br. Acesso em: 7 jun. 2023.

[11] BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 1 jun. 2023.

[12] INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA. **Plano Estadual RH**. Disponível em: www.inema.ba.gov.br. Acesso em: 1 jun. 2023.

[13] INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA. **RPGA**. Disponível em: www.inema.ba.gov.br. Acesso em: 01 jun. 2023.

[14] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **IBGE lança mapa inédito de Biomas e Sistema Costeiro-Marinho.** *Agência IBGE Notícias*, 30 nov. 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br> Acesso em: 21 jul. 2023.

[15] AWS TRUEPOWER; CAMARGO SCHUBERT; FIEB/SENAI CIMATEC. **Bahia**: Atlas Solar. Curitiba: Camargo Schubert; Salvador: SECTI: SEINFRA: CIMATEC/SENAI, 2018. p. 76.

[16] PRATES, A. P. L. **Panorama da Conservação dos Ecossistemas Costeiros e Marinhos no Brasil**. *Gerência Biodiversidade Aquática e Recur*. Pesqueiros, p. 148, 2012. Disponível em: http://bibliotecaflorestal.ufv.br. Acesso em: 1 jun. 2023.

[17] INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBIO. **Parque Nacional Marinho de Abrolhos**. Disponível em: www.icmbio.gov.br. Acesso em: 1 jun. 2023.

[18] CLISTENES, A. *et al*. **Biodiversidade na Bahia**. *Acad. Ciências da Bahia*, pp. 1-13, 2022. Disponível em: http://cienciasbahia.org.br. Acesso em: 1 jun. 2023.

[19] BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 1 jun. 2023.

[20] CAMARGO SCHUBERT; AWS TRUEPOWER. **Bahia**: Atlas Eólico. Curitiba: Camargo Schubert; Salvador: SECTI: SEINFRA: CIMATEC/ SENAI, 2013. p. 96.

[21] INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA. **Parque Estadual do Morro do Chapéu**. Disponível em: www.inema.ba.gov.br. Acesso em: 2 jun. 2023.

[22] SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DA BAHIA – SEMA. Portaria SEMA no 37, de 15 de agosto de 2017. Torna pública a Lista Oficial das Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção do Estado da Bahia. Disponível em: www.meioambiente.ba.gov.br. Acesso em: 6 jun. 2023.

[23] SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DA BAHIA – SEMA. Portaria SEMA n° 40, de 21 de agosto de 2017. Torna pública a Lista Oficial das Espécies Endêmicas da Flora Ameaçadas de Extinção do Estado da Bahia. Disponível em: www.meioambiente.ba.gov.br. Acesso em: 6 jun. 2023.

[24] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Portaria MMA nº 148, de 7 de junho de 2022. Altera os Anexos da Portaria nº 443, de 17 de dezembro de 2014, da Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014, e da Portaria nº 445, de 17 de dezembro de 2014, referentes à atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção. Disponível em: https://www.in.gov.br. Acesso em: 6 jun. 2023.

[25] BRASIL. Decreto no 9.336, de 5 de abril de 2018. Cria o Parque Nacional do Boqueirão da Onça, localizado nos Municípios de Sento Sé, Juazeiro, Sobradinho e Campo Formoso, Estado da Bahia. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 2 jun. 2023.

[26] SILVA, J. M. C. *et al*. **Áreas e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade na Caatinga**. pp. 348–382, 2005. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br. Acesso em: 5 jun. 2023.

[27] INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA. **APA do Lago de Sobradinho**. Disponível em: www.inema.ba.gov.br. Acesso em: 2 jun. 2023.

[28] CORREIA, M; DIAS, M. **Variação do Nível do Reservatório de Sobradinho e seu Impacto Sobre o Clima da Região**. *Rev. Bras. Recur. Hídricos*, v. 8, no. 1, p. 157–168, 2003.

[29] AGUIAR, V.C. *et al*. **Comportamento do reservatório de Sobradinho com a prática de defluências ambientais sazonais**. *XXII Simpósio Bras. Recur. Hídricos*, p. 1-8, 2017.

[30] NOGUEIRA, E. **Sobradinho – De volta ao Sertão**. *Empresa Brasileira de Comunicação – EBC, Agência Brasil*. Disponível em: http://memoria.ebc.com.br. Acesso em: 2 jun. 2023.

[31] SECRETARIA DO PLANEJAMENTO DO ESTADO DA BAHIA – SEPLAN. **Povos Indígenas da Bahia submetem propostas ao PPA**. 2023. Disponível em: www.bahia.ba.gov.br. Acesso em: 19 abr. 2023.

[32] MAYNART, G. **Terra de ninguém**: Mais de 38 mil famílias baianas ainda não receberam títulos de posse. *Correio 24 Horas*. Disponível em: www.correio24horas.com.br. Acesso em: 2 jun. 2023.

[33] BRASIL. Lei nº 6.001, de 19 de dezembro de 1973. Dispõe sobre o Estatuto do Índio. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 2 jun. 2023.

[34] MINISTÉRIO DOS POVOS INDÍGENAS. **O papel da Funai no processo de licenciamento ambiental**. 18 nov. 2020. Disponível em: www.gov.br. Acesso em: 2 jun. 2023.

[35] BRASIL. Decreto no 4.887, de 20 de novembro de 2003. Regulamenta o procedimento para identificação, reconhecimento, delimitação, demarcação e titulação das terras ocupadas por remanescentes das comunidades dos quilombos de que trata o art. 68 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 2 jun. 2023.

[36] MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA; INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA. Instrução Nomativa Incra nº 111, de 22 de dezembro de 2021. Disponivel em: www.in.gov.br. Acesso em: 2 jun. 2023.

[37] BRASIL. Lei no 8.629, de 25 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. Disponivel em: www.gov.br. Acesso em: 2 jun. 2023.

[38] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 14044**: gestão ambiental — avaliação do ciclo de vida — requisitos e orientações. São Paulo, 2009.

[39] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 14067:** gases de efeito estufa — pegada de carbono de produtos — requisitos e orientações sobre quantificação. 2023.

[40] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 14064:1:** Gases de efeito estufa: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa. 2007.

[41] BAHIA. Lei no 12.050, de 7 de janeiro de 2011. Institui a Política sobre Mudança do Clima do Estado da Bahia, e dá outras providências. Disponível em: www.seia.ba.gov.br. Acesso em: 12 jun. 2023.

[42] COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA – CEPAL. **Acordo Regional sobre Acesso à Informação, Participação Pública e Acesso à Justiça em Assuntos Ambientais na América Latina e no Caribe**. Costa Rica, Escazú, 2018. Disponível em: https://cepal.org. Acesso em: 12 jun. 2023.

[43] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. Rede de Drenagem: Base Hidrográfica Ottocodificada 2017 50K. 2017. Disponível em: https://dadosabertos.ana.gov.br. Acesso em: 17 maio 2023.

[44] ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI. **World Hillshade – ArcGIS Data Appliance**. 2022. Disponível em: https://doc.arcgis.com. Acesso em: 17 maio 2023.

REFERENCES

# REFERÊNCIAS


[45] FUNDAÇÃO NACIONAL DOS POVOS INDÍGENAS – FUNAI. **Terras Indígenas**. 2020. Disponível em: www.funai.gov.br. Acesso em: 27 mar. 2023.

[46] GEOBAHIA. **Unidades de Conservação Estaduais e Municipais**. 2022. Disponível em: http://mapa.geobahia.ba.gov.br. Acesso em: 27 mar. 2023.

[47] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Localidades**. 2010. Disponível em: https://www.ibge.gov.br. Acesso em: 17 maio 2023.

[48] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Massas D'água**: Bases cartográficas contínuas – Brasil. 2021. Disponível em: https://ibge.gov.br. Acesso em: 17 maio 2023.

[49] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Unidades da Federação**: Malha Municipal. 2021. Disponível em: https://www.ibge.gov.br. Acesso em: 17 maio 2023.

[50] INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBIO. **Unidades de Conservação Federais: Dados geoespaciais de referência da Cartografia Nacional e dados temáticos produzidos no ICMBio**. 2023. Disponível em: www.icmbio.gov.br. Acesso em: 27 mar. 2023.

[51] INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA. **Áreas de Quilombolas e Projetos de Assentamento Total**. 2023. Disponível em: https://certificacao.incra.gov.br. Acesso em: 27 mar. 2023.

[52] SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS – SEI. **Habitantes**: Estimativa municípios. 2021. Disponível em: https://ftp.sei.ba.gov.br. Acesso em: 17 maio 2023.


MARKET OF H2V

# 4 O MERCADO DE H2V


[1] CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Hidrogênio sustentável**: Perspectivas e potencial para a indústria brasileira. *Gerência Executiva de Meio Ambiente e Sustentabilidade – GEMAS*, 2022. Disponível em: www.portaldaindustria.com.br. Acesso em: 23 maio 2023.

[2] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Global Hydrogen Review**. 2022. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net. Acesso em: 23 maio 2023.

[3] INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY – IRENA. **Hydrogen from renewable power**: Technology outlook for the energy transition. 2018. Disponível em: www.irena.org. Acesso em: 23 maio 2023.

[4] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT – GIZ. **Mapeamento do Setor de Hidrogênio Brasileiro**: Panorama Atual e Potenciais para o Hidrogênio Verde. 2021. Disponível em: www.energypartnership.com.br. Acesso em: 23 maio 2023.

[5] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Produção e Consumo de Hidrogênio em Refinarias no Brasil**. *Nota Técnica*, Ministério de Minas e Energia – MME, maio 2022. Disponível em: www.epe.gov.br. Acesso em: 29 mar. 2023.

[6] UNIGEL. **Relatório de Sustentabilidade**. 2021. Disponível em: https://ri.unigel.com.br. Acesso em: 25 mar. 2023.

[7] PETRÓLEO BRASILEIRO S/A – PETROBRAS. **Relatório Anual 2018**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: www.investidorpetrobras.com.br. Acesso em: 25 mar. 2023.

[8] UNIGEL. **Com investimento total de US$ 1,5 bilhão, Bahia terá primeiro projeto de hidrogênio verde em escala industrial no Brasil**. 18 jan. 2023. Disponível em: www.unigel.com.br. Acesso em: 25 mar. 2023.

[9] PRECEDENCE RESEARCH. **Green Hydrogen Market**. 2023. Disponível em: www.precedenceresearch.com. Acesso em: 17 abr. 2023.

[10] JOCHEN, B. *et al*. **The Limitations of Hydrogen Blending in the European Gas Grid**. *Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology (IEE) short study*, jan. 2022.

[11] H2VERDEBRASIL. **Desafios do Hidrogênio Verde**. *Portal Hidrogênio Verde*. Disponível em: www.h2verdebrasil.com.br. Acesso em: 22 abr. 2023.

[12] TRANSPORTADORA ASSOCIADA DE GÁS S.A. – TAG. **Acumulado de janeiro de 2017 até abril de 2023 – Malhas Nordeste, Quantidade Programada / Realizada**. Disponível em: https://ntag.com.br. Acesso em: 12 abr. 2023.

[13] GURLIT, W. *et al*. **Hidrogênio verde**: uma oportunidade de geração de riqueza com sustentabilidade, para o Brasil e o mundo. p. 14, 2021. Disponível em: www.mckinsey.com. Acesso em: 22 abr. 2023.

[14] INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Panorama do hidrogênio no Brasil**. 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br. Acesso em: 18 abr. 2023.

[15] BLOOMBERGNEF – BNEF. **Aproveitando o potencial de transição do Brasil**. maio 2023.

[16] SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO ESTADO DA BAHIA – SDE. **Desempenho da Mineração Baiana 2021**. *Informativo Anual da Mineração Baiana*, ano 9, 2021. Disponível em: www.sde.ba.gov.br. Acesso em: 15 mar. 2023.

[17] AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO – ANM. **Anuário Mineral Brasileiro 2022**. *Ministério de Minas e Energia*, jan. 2023. Disponível em: www.anm.gov.br. Acesso em: 23 maio 2023.

[18] BAHIA MINERAÇÃO – BAMIN. **Ferrovia anuncia vencedor que irá executar obras em corredor logístico de exportação na Bahia**. 4 abr. 2023. Disponível em: www.bamin.com.br. Acesso em: 22 abr. 2023.

[19] INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE – IEMA. **As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de Energia e de Processos Industriais em 2019**. dez. 2022. Disponível em: https://energiaeambiente.org.br. Acesso em: 24 abr. 2023.

[20] REGINA, I. C.; LOPES, M. C. **Ônibus a célula a combustível hidrogênio para transporte urbano no Brasil**. *Engenharia | Transporte EMTU/SP*, p. 118-120, 2012. Disponível em: http://www.brasilengenharia.com. Acesso em: 23 maio 2023.

[21] FREITAS, A. **Ônibus a hidrogênio começam a ser produzidos no início de 2022 no Rio de Janeiro**. *CNN BRASIL*, Rio de Janeiro, 18 nov. 2021. Disponível em: www.cnnbrasil.com.br. Acesso em: 24 abr. 2023.

[22] SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – SEMA. **Inventário de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa**. *Governo do Estado da Bahia*, 2022. Disponível em: www.meioambiente.ba.gov.br. Acesso em: 23 maio 2023.

[23] GOMES, D. **Bahia pode ampliar movimentação de cargas ferroviárias em 27%, mas governo precisa se mexer**. *Correio 24 horas*, 17 mar. 2023. Disponível em: www.correio24horas.com.br. Acesso em: 25 maio 2023.

[24] GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. **Plano Ferroviário da Bahia aponta corredores estruturais e necessidade de integração logística**. *Portal Oficial do Estado da Bahia*, 23 mar. 2023. Disponível em: www.bahia.ba.gov.br. Acesso em: 25 maio 2023.

[25] SANTOS, V.; OHARA, A. **Desafios e oportunidades para o Brasil com o Hidrogênio Verde**. maio 2021. Disponível em: https://br.boell.org. Acesso em: 23 maio 2023.

[26] INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY – IRENA. **Green Hydrogen**: A guide to policy making. 2021. Disponível em: www.irena.org. Acesso em: 23 maio 2023.

[27] INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY – IRENA. **Green hydrogen priorities**. 2020. Disponível em: www.irena.org. Acesso em: 23 maio 2023.

## 5 METHODOLOGY METODOLOGIA


[1] ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. **ArcGIS Pro**. Versão 3.0.3., 2022. Disponível em: www.esri.com. Acesso em: 26 maio 2023.

[2] BLUE MARBLE GEOGRAPHICS. **Global Mapper**. Versão 16.0.5., 2014. Disponível em: www.bluemarblegeo.com. Acesso em: 26 maio 2023.

[3] CAMARGO SCHUBERT; AWS TRUEPOWER. **Bahia**: Atlas Eólico. Curitiba: Camargo Schubert; Salvador: SECTI: SEINFRA: CIMATEC/SENAI, 2013. p. 96.

[4] AWS TRUEPOWER; CAMARGO SCHUBERT; FIEB/SENAI CIMATEC. **Bahia**: Atlas Solar. Curitiba: Camargo Schubert; Salvador: SECTI: SEINFRA: CIMATEC/SENAI, 2018. p. 76.

[5] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL; SUPERINTENDÊNCIA DE ENERGIA E COMUNICAÇÃO DA SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DA BAHIA – SUPEC-SEINFRA/BA. **SIGA - Sistema de Informações de Geração da ANEEL**. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[6] CAMARGO SCHUBERT *et al*. **Ceará**: Atlas Eólico e Solar. Curitiba: Camargo Schubert; Fortaleza: ADECE: FIEC: SEBRAE, 2019. p. 188

[7] NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY – NREL. **Land-Use Requirements for Solar Power Plants in the United States Sean**. 2013. Disponível em: www.nrel.gov. Acesso em: 18 maio 2023.

[8] SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS – SEI. **Info Bahia**. 2023. Disponível em: https://sei.ba.gov.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[9] INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA – IICA. **Revisão do Plano Estadual e Recursos Hídricos do Estado da Bahia - PERH: Balanço Hídrico do Estado da Bahia: Produto Quatro: Documento Final**. 2012. p. 328.

[10] COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Apêndice D – Índices de Qualidade das Águas**. Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo, 2016. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[11] NEGRÃO, F. I. **Hidrogeologia do Estado da Bahia**: qualidade, potencialidade, disponibilidade, vulnerabilidade e grau de poluição. Universidade da Coruña, Tese de Doutorado, 2008. p. 195.

[12] OLIVEIRA, I. B.; NEGRÃO, F. I.; SILVA, A. G. L. S. **Aplicação do Índice de Qualidade Natural da Água Subterrânea (IQNAS) para os domínios hidrogeológicos do Estado da Bahia**. *XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, 2006.

[13] OLIVEIRA, I. B.; NEGRÃO, F. I.; SILVA, A. G. L. S. **Mapeamento dos aquíferos do Estado da Bahia utilizando o Índice de Qualidade Natural das águas subterrâneas** – IQNAS. *Águas Subterrâneas*, v. 21, n. 1, p 123-137, 2007.

[14] COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS**. Disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br. Acesso em: 15 mar. 2023.

[15] PLUG POWER INC. **Electrolyzer System Technical Specifications**. Proposta técnica e comercial fornecida ao SENAI CIMATEC em 15 set. 2021.


## 6 THEMATIC MAPS MAPAS TEMÁTICOS


[1] AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO – ANM. **Anuário Mineral Brasileiro 2022**. Ministério de Minas e Energia, jan. 2023. Disponível em: <www.anm.gov.br> Acesso em: 23 mai. 2023.

[2] FUNDAÇÃO NACIONAL DOS POVOS INDÍGENAS – FUNAI. **Terras Indígenas**. 2020. Disponível em: <www.funai.gov.br> Acesso em: 27 mar. 2023.

[3] GEOBAHIA. **Unidades de Conservação Estaduais e Municipais**. 2022. Disponível em: <http://mapa.geobahia.ba.gov.br> Acesso em: 27 mar. 2023.

[4] INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS – IBAMA. **Vegetação de Mangue brasileira - SHP-ZIP**. 2021. Disponível em: <https://dadosabertos.ibama.gov.br> Acesso em: 03 jul. 2023.

[5] INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBIO. **Unidades de Conservação Federais: Dados geoespaciais de referência da Cartografia Nacional e dados temáticos produzidos no ICMBio**. 2023. Disponível em: <www.icmbio.gov.br> Acesso em: 27 mar. 2023.

[6] INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA. **Áreas de Quilombolas e Projetos de Assentamento Total**. 2023. Disponível em: <https://certificacao.incra.gov.br> Acesso em: 27 mar. 2023.

[7] MAPBIOMAS BRASIL. **Projeto Mapbiomas - Coleção 7.0 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**. 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org> Acesso em: 27 mar. 2023.

[8] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Rede de Drenagem: Base Hidrográfica Ottocodificada 2017 50K**. 2017. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br> Acesso em: 17 mai. 2023.

[9] AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Lista de Aeródromos Civis Cadastrados**. 2023. Disponível em: <www.anac.gov.br> Acesso em: 24 mar. 2023.

[10] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL; SUPERINTENDÊNCIA DE ENERGIA E COMUNICAÇÃO DA SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DA BAHIA – SUPEC-SEINFRA/BA. **SIGA - Sistema de Informações de Geração da ANEEL**. Disponível em: <www.aneel.gov.br> Acesso em: 18 mai. 2023.

[11] AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS – ANTAQ. **Instalações Portuárias Outorgadas**. Shape e Mapas, 2021. Disponível em: <www.antaq.gov.br> Acesso em: 04 jul. 2023.

[12] NEONERGIA COELBA. **Dados do Sistema Elétrico Baiano**. Salvador, 2022. Disponibilizados por meio de planilhas digitais.

[13] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Rodovias Estaduais**. 2021. Disponível em: <https://servicos.dnit.gov.br> Acesso em: 28 mar. 2023.

[14] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Rodovias Federais**. 2022. Disponível em: <https://servicos.dnit.gov.br> Acesso em: 28 mar. 2023.

[15] EMPRESA BRASILERA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Webmap. Sistema de Informações do Setor Elétrico Brasileiro**. Disponível em: <gisepeprd2.epe.gov.br/> Acesso em: 10 abr. 2023

[16] ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI. **ArcGIS Pro**. Software, 2022. Disponível em: <www.esri.com>

[17] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Massas D'água: Bases cartográficas contínuas – Brasil**. 2021. Disponível em: <https://ibge.gov.br> Acesso em: 17 mai. 2023.

[18] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Unidades da Federação: Malha Municipal**. 2021. Disponível em: <https://ibge.gov.br/> 10 abr. 2023.

REFERENCES

# REFERÊNCIAS


[19] OBSERVATÓRIO NACIONAL DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA – ONTL. **Shapefile de Dutoviário**. 2018. Disponível em: <https://ontl2.epl.gov.br> Acesso em: 27 mar. 2023.

[20] CAMARGO SCHUBERT et al. **Bahia: Atlas Eólico**. Curitiba : Camargo Schubert ; Salvador: SECTI : SEINFRA : CIMATEC/ SENAI, 2013. 96 p.

[21] AWS TRUEPOWER; CAMARGO SCHUBERT; FIEB/ SENAI CIMATEC. **Bahia: Atlas Solar**. Curitiba : Camargo Schubert ; Salvador: SECTI : SEINFRA : CIMATEC/ SENAI, 2018. 76 p.

[22] COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS**. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br> Acesso em: 15 mar. 2023.

[23] INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA. **Regiões de Planejamento e Gestão das Águas – RPGAs**. 2012. Disponível em: <http://mapa.geobahia.ba.gov.br> Acesso em: 20 mar. 2023.

[24] INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA. **Hidrografia**. 2019. Disponível em: <http://mapa.geobahia.ba.gov.br> Acesso em: 20 mar. 2023.

[25] SISTEMA ESTADUAL DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS E DE RECURSOS HÍDRICOS – SEIA. **Índice de Qualidade das Águas – IQA**. 2021. Disponível em: <http://monitoramento.seia.ba.gov.br> Acesso em: 20 mar. 2023.

[26] COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Domínios Hidrogeológicos**. 2014. Disponível em: <https://geosgb.sgb.gov.br> Acesso em: 12 jun. 2023.

[27] COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas - IQNAS**. 2020. Disponível em: <https://siagasweb.sgb.gov.br> Acesso em: 12 jun. 2023.


## 7 ANALYSIS AND DIAGNOSIS
## ANÁLISES E DIAGNÓSTICOS


[1] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estrutura Territorial**. Disponível em: https://ibge.gov.br. Acesso em: 24 maio 2023.

[2] CAMARGO SCHUBERT; AWS TRUEPOWER. **Rio Grande do Sul**: Atlas Eólico. Porto Alegre: SDPI: AGDI, 2014. p. 116.

[3] MARON AMBIENTAL. **EIA/RIMA Complexo Eólico Mirangaba**. Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA, abr. 2022. Disponível em: www.inema.ba.gov.br. Acesso em: 24 maio 2023.

[4] NEGRÃO, F. I. **Hidrogeologia do Estado da Bahia**: qualidade, potencialidade, disponibilidade, vulnerabilidade e grau de poluição. Universidade da Coruña, Tese de Doutorado, 2008. p. 195.

[5] INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA – IICA. **Revisão do Plano Estadual e Recursos Hídricos do Estado da Bahia - PERH: Balanço Hídrico do Estado da Bahia: Produto Quatro: Documento Final**. 2012. p. 328.

[6] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Global Hydrogen Review** 2021. 2021. Disponível em: www.iea.org. Acesso em: 24 maio 2023.


## 8 PRIORITY AREAS
## ÁREAS PRIORITÁRIAS


[1] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Divisão Territorial Brasileira**. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br. Acesso em: 17 mar. 2023.

[2] HATJE, V.; ANDRADE, J. B. **Baía de Todos os Santos**: aspectos oceanográficos. Salvador: EDUFBA, 2009.

[3] CORREIA, M.; DIAS, M. Variação do Nível do Reservatório de Sobradinho e seu Impacto Sobre o Clima da Região. *Rev. Bras. Recur. Hídricos*, vol. 8, n. 1, p. 157-168, 2003.

[4] BRASIL. Decreto 88.218, de 6 de abril de 1983. Cria o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 24 jun. 2023.

[5] INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBIO. **Parque Nacional Marinho dos Abrolhos**. Disponível em: www.icmbio.gov.br. Acesso em: 1 jun. 2023.

[6] SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS - SEI. **Info Bahia**. 2023. Disponível em: https://sei.ba.gov.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[7] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativas de População em 2021**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 26 mar. 2023.

[8] MAYNART, G. Terra de ninguém: Mais de 38 mil famílias baianas ainda não receberam títulos de posse. *Correio 24 Horas*. Disponível em: www.correio24horas.com.br. Acesso em: 2 jun. 2023.

[9] SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS - SEI. PIB e Estudos Correlatos – **PIB Estadual Anual em 2022**. Disponível em: https://sei.ba.gov.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[10] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Industrial Anual – Empresa. Valor Bruto da Produção Industrial em 2022**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[11] FIRJAN. **Análise Especial IFDM 2018 | Ano Base 2016 : Bahia**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://www.firjan.com.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[12] LIU, Y. et al. A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. Expert Syst. Appl., vol. 161, p. 113738, 2020.

[13] VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. Eur. J. Oper. Res., vol. 169, n. 1, p. 1-29, 2006.

[14] CHENG, W; LEE, S. How Green Are the National Hydrogen Strategies? Sustain., vol. 14, n. 3, p. 1-33, 2022.

[15] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Nota Técnica – Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio. *Ministério de Minas e Energia – MME*, 23 fev. 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br. Acesso em: 7 set. 2022.

[16] CAMARGO SCHUBERT; AWS TRUEPOWER. **Bahia**: Atlas Eólico. Curitiba: Camargo Schubert; Salvador: SECTI: SEINFRA: CIMATEC/SENAI, 2013. p. 96.

[17] AWS TRUEPOWER; CAMARGO SCHUBERT; FIEB/SENAI CIMATEC. **Bahia**: Atlas Solar. Curitiba: Camargo Schubert; Salvador: SECTI: SEINFRA: CIMATEC/SENAI, 2018. p. 76.

[18] ANDRADE, L. P. C. D. S. et al. Strategic Management Method for the Incubation Process of Industrial Companies: Case Study of the Tooling Industry in Brazil. *Procedia CIRP*, vol. 41, December, p. 129-134, 2016.

[19] BAHIA. Lei no 13.468, de 29 de dezembro de 2015. Institui o Plano Plurianual Participativo (PPA) do Estado da Bahia para o quadriênio 2016-2019. Disponível em: https://leisestaduais.com.br. Acesso em: 23 jun. 2023.

[20] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Rede de Drenagem**: Base Hidrográfica Ottocodificada 2017 50K – Trecho de drenagem. 2017. Disponível em: https://dadosabertos.ana.gov.br. Acesso em: 04 jul. 2023.

[21] AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL - ANAC. **Lista de Aeródromos Civis Cadastrados**. 2023. Disponível em: www.anac.gov.br. Acesso em: 24 mar. 2023.

[22] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL; SUPERINTENDÊNCIA DE ENERGIA E COMUNICAÇÃO DA SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DA BAHIA - SUPEC-SEINFRA/BA. **SIGA - Sistema de Informações de Geração da ANEEL**. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 18 maio 2023.

[23] AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS - ANTAQ. **Instalações Portuárias Outorgadas**. Shape e Mapas, 2021. Disponível em: www.antaq.gov.br. Acesso em: 4 jul. 2023.

[24] NEONERGIA COELBA. **Dados do Sistema Elétrico Baiano**. Salvador, 2022. Disponibilizados por meio de planilhas digitais.

[25] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Rodovias Estaduais**. 2021. Disponível em: https://servicos.dnit.gov.br. Acesso em: 28 mar. 2023.

[26] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Rodovias Federais**. 2021. Disponível em: https://servicos.dnit.gov.br. Acesso em: 28 mar. 2023.

[27] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Webmap. Sistema de Informações do Setor Elétrico Brasileiro**. Disponível em: gisepeprd2.epe.gov.br. Acesso em: 10 abr. 2023.

[28] ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. **ArcGIS Pro**. Software, 2022. Disponível em: www.esri.com.

[29] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Massas d'água**: Bases cartográficas contínuas – Brasil. 2021. Disponível em: https://ibge.gov.br. Acesso em: 10 abr. 2023.

[30] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Unidades da Federação**: Malha Municipal. 2021. Disponível em: https://ibge.gov.br. Acesso em: 10 abr. 2023.

[31] OBSERVATÓRIO NACIONAL DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA - ONTL. **Shapefile de Dutoviário**. 2018. Disponível em: https://ontl2.epl.gov.br. Acesso em: 27 mar. 2023.

[32] SUPERINTENDÊNCIA DE ENERGIA E COMUNICAÇÃO DA SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DA BAHIA - SUPEC-SEINFRA/BA. **Dados do Sistema Elétrico Baiano**. Salvador, 2022. Disponibilizados por meio de planilhas digitais.

Sistema FIEB | SENAI CIMATEC
PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO
BAHIA
SECRETARIA DO MEIO-AMBIENTE | SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO | SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA | SECRETARIA DO PLANEJAMENTO | SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Sistema FIEB

SENAI CIMATEC

PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

GOVERNO DO ESTADO

BAHIA

SECRETARIA DO MEIO-AMBIENTE

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO

SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

ISBN: 978-85-60771-20-2