

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Luana Oliveira da Costa

Avaliação da Transição Energética na Comunidade dos Países de Língua
Portuguesa (CPLP): uma abordagem utilizando Inferência *Fuzzy*
considerando Aspectos Sociais e Eletroenergéticos

Juiz de Fora

2024

Luana Oliveira da Costa

Avaliação da Transição Energética na Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP): uma abordagem utilizando Inferência *Fuzzy* considerando Aspectos Sociais e Eletroenergéticos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Área: Sistemas de Energia.

Orientador: Prof. Igor Delgado de Melo, D.Sc.

Juiz de Fora

2024

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Costa, Luana O.

Avaliação da Transição Energética na Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP): uma abordagem utilizando Inferência *Fuzzy* considerando Aspectos Sociais e Eletroenergéticos / Luana Oliveira da Costa. – 2024.

197 p. : il.

Orientador: Igor Delgado de Melo

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2024.

1. Transição Energética. 2. Energia Renovável. 3. Lógica *Fuzzy*. I. Melo, Igor D., orient. II. Título.

Luana Oliveira da Costa

Avaliação da Transição Energética na Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP): uma abordagem utilizando Inferência Fuzzy considerando Aspectos Sociais e Eletroenergéticos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Área de concentração: Sistemas de Energia Elétrica

Aprovada em 18 de março de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Igor Delgado de Melo - Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Bráulio César de Oliveira

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Alexandre Bessa dos Santos

Universidade Federal de Juiz de Fora

Juiz de Fora, 27/02/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Igor Delgado de Melo, Professor(a)**, em 18/03/2024, às 11:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bráulio César de Oliveira, Usuário Externo**, em 18/03/2024, às 11:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Bessa dos Santos, Professor(a)**, em 18/03/2024, às 12:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1721025** e o código CRC **366326E8**.

bet than never is late
Geoffrey Chaucer

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais, Sonimar e José Lourenço, por toda dedicação, carinho e amor que confiaram à mim. Ao meu irmão, Arthur Lourenço, por ser o meu eterno amigo e a minha metade aqui na terra. Aos meus avós, Maria da Glória, Maria de Lourdes e Silvério, por todas as orações que fizeram por mim e todos os momentos que estiveram ao meu lado, me dando forças e sendo a minha base. Todo meu caráter e minha determinação foram moldados pelas raízes da minha família.

Agradeço ao meu namorado, Loan, que foi imprescindível em todos os momentos da minha vida, por toda paciência, compreensão, dedicação e apoio ao longo de todos estes anos. À Edith por ter tornado meus piores dias, mais felizes. Aos meus amigos, agradeço de todo coração, pelos momentos de apoio, amizade e felicidade. Em especial, à Bárbara, Diana e Fernanda pelo apoio fornecido durante o desenvolvimento deste trabalho. Além dos amigos formados na Neoenergia, em especial Lorena, João Pedro e Camila que tornaram essa jornada mais leve.

É importante mencionar aqui o suporte educacional disponibilizado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e pela Universidade Federal de Juiz de Fora, sem o qual não seria possível o desenvolvimento deste trabalho. De maneira especial, meu agradecimento ao Professor Igor Delgado por toda dedicação, compreensão e apoio durante a construção deste trabalho, por acreditar em mim, e por ser extremamente empático e um grande amigo. Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFJF pelos ensinamentos transmitidos. À Tatiane, sempre solícita e disposta a ajudar.

Por fim, sou grata a Deus por tudo que realizou em minha vida e que ainda vai realizar. Assim como nos ensina Mahatma Gandhi: *"Seja a mudança que você quer ver no mundo"*, espero que nunca se perca em mim a vontade de "mudar o mundo" e impactar positivamente as pessoas através da engenharia.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise referente à transição energética considerando aspectos sociais e eletroenergéticos nos países lusófonos pertencentes à CPLP (Comunidade dos Países de Língua Portuguesa), criada em 1996 e composta por nove estados membros Angola, Brasil, Cabo Verde, Guiné-Bissau, Guiné Equatorial, Portugal, Moçambique, São Tomé e Príncipe e Timor-Leste. Através de um minucioso levantamento de dados, cada país é avaliado considerando cinco eixos de análise incluindo: (i) Índice de Desenvolvimento Humano (IDH); (ii) acesso à eletricidade; (iii) geração de energia; (iv) produção de eletricidade a partir de fontes de energia renováveis e (v) capacidade de geração instalada. São utilizados dados de capacidade instalada das fontes solar, eólica, biomassa e hidráulica, obtidos através de dados disponibilizados pela Agência Central de Inteligência dos Estados Unidos (CIA, do inglês *Central Intelligence Agency*) e a Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA, do inglês *International Renewable Energy Agency*). Adicionalmente, os dados de IDH foram obtidos pelos relatórios de desenvolvimento humano do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Através da correlação de *Pearson*, são realizadas inferências acerca da relação entre os países e o crescimento do uso de renováveis em cada um dos mesmos com seus correspondentes IDHs evidenciando uma forte relação entre o desenvolvimento social e a transição energética em cada país, apesar das grandes diferenças socioeconômicas apresentadas ao longo desta dissertação. A partir da obtenção da amostragem de dados anteriormente mencionada, este trabalho propõe um novo índice, criado a partir de um Sistema de Inferência *Fuzzy* (em livre tradução da expressão inglesa, *Fuzzy Inference System*) que permite analisar não apenas o desenvolvimento humano mas também aspectos eletroenergéticos de forma coerente com a situação social e econômica de cada país, uma vez que há a percepção de que transição energética não ocorrerá de forma igualitária. Na abordagem proposta, cada eixo de análise é tratado como uma variável a ser *fuzzificada* a fim de atribuir variáveis linguísticas que representem sua classificação de forma subjetiva. Como saída do sistema de inferência, almeja-se determinar um índice numérico que permita ranquear os países não apenas com base no IDH, como é tradicionalmente realizado no contexto mundial, mas com base em outros eixos de análise também relevantes. Resultados são apresentados a partir de uma amostra de dados coletada ao longo de dez anos para cada um dos países e eixos analisados, evidenciando sua aplicabilidade no contexto da transição energética global.

Palavras-chave: 1. Transição Energética. 2. Energia Renovável. 3. Lógica *Fuzzy*. 4. Desenvolvimento Humano e Sustentável.

ABSTRACT

This work presents an analysis regarding energy transition considering social and electroenergetic aspects in the Portuguese-speaking countries belonging to CPLP (Community of Portuguese Language Countries), created in 1996 and composed of nine member states: Angola, Brazil, Cape Verde, Guinea-Bissau, Equatorial Guinea, Portugal, Mozambique, São Tomé and Príncipe, and Timor-Leste. Through a meticulous data collection, each country is evaluated considering five axes of analysis including: (i) Human Development Index (HDI); (ii) access to electricity; (iii) energy generation; (iv) electricity production from renewable energy sources; and (v) installed generation capacity. Data on installed capacity from solar, wind, biomass, and hydraulic sources are used, obtained from information provided by the United States Central Intelligence Agency (CIA) and the International Renewable Energy Agency (IRENA). Additionally, HDI data were obtained from the United Nations Development Programme (UNDP) Human Development Reports. Through Pearson correlation, inferences are made about the relationship between the countries and the growth of renewable usage in each of them with their corresponding HDIs, highlighting a strong relationship between social development and energy transition in each country, despite the significant socio-economic differences presented throughout this dissertation. From the aforementioned data sampling, this work proposes a new index, created from a Fuzzy Inference System, which allows analyzing not only human development but also electroenergetic aspects in a manner coherent with the social and economic situation of each country, considering that energy transition will not occur equally in each country. In the proposed approach, each axis of analysis is treated as a variable to be fuzzified in order to assign linguistic variables that represent its classification subjectively. As an output of the inference system, the aim is to determine a numerical index that allows ranking the countries not only based on HDI, as traditionally done in the global context, but also based on other important axes of analysis. Results are presented based on a data sample collected over ten years for each of the countries and analyzed axes, demonstrating its applicability in the context of global energy transition.

Keywords: 1. Energy Transition. 2. Renewable Energy. 3. Fuzzy Logic 4. Human and Sustainable Development.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Conceito <i>Triple Bottom Line</i> (TBL).	20
Figura 2	– Fotografia do Planeta Terra tirada do espaço pela NASA. . .	24
Figura 3	– Mapa com a localização geográfica dos países da CPLP. . .	30
Figura 4	– Variação do IDH nos nove países da CPLP ao longo de 20 anos.	32
Figura 5	– Variação do PIB nos nove países da CPLP ao longo de 20 anos.	33
Figura 6	– Variação acumulada do PIB nos nove países da CPLP ao longo de 20 anos.	34
Figura 7	– Variação do acesso a eletricidade (população), em porcentagem, nos nove países da CPLP ao longo de 20 anos.	37
Figura 8	– Correlação entre as variáveis de IDH, PIB e acesso à eletricidade ao longo de 20 anos.	39
Figura 9	– Variação da participação na produção de eletricidade a partir de fontes renováveis, em porcentagem, nos nove países da CPLP ao longo de 20 anos.	40
Figura 10	– Mapa com a localização geográfica de Angola.	41
Figura 11	– Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em Angola. . .	44
Figura 12	– Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Angola.	46
Figura 13	– Mapa com a localização geográfica do Brasil.	47
Figura 14	– Relação do desenvolvimento do PIB e IDH no Brasil. . . .	49
Figura 15	– Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Brasil.	52
Figura 16	– Mapa com a localização geográfica de Cabo Verde.	53
Figura 17	– Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em Cabo Verde.	55
Figura 18	– Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Cabo Verde.	58
Figura 19	– Mapa com a localização geográfica de Guiné-Bissau.	60
Figura 20	– Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em Guiné-Bissau.	62
Figura 21	– Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Guiné-Bissau.	66
Figura 22	– Mapa com a localização geográfica de Guiné Equatorial. . .	68
Figura 23	– Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em Guiné Equato- rial.	70
Figura 24	– Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Guiné Equa- torial.	74
Figura 25	– Mapa com a localização geográfica de Portugal.	76
Figura 26	– Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em Portugal. . .	78
Figura 27	– Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Portugal.	82
Figura 28	– Mapa com a localização geográfica de Moçambique.	84
Figura 29	– Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em Moçambique.	87

Figura 30	– Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Moçambique.	91
Figura 31	– Mapa com a localização geográfica de São Tomé e Príncipe.	93
Figura 32	– Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em São Tomé e Príncipe.	95
Figura 33	– Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - São Tomé e Príncipe.	98
Figura 34	– Mapa com a localização geográfica de Timor-Leste.	100
Figura 35	– Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em Timor-Leste.	103
Figura 36	– Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Timor-Leste.	106
Figura 37	– Países e organizações pertencentes à RELOP.	108
Figura 38	– Energia primária (Consumo mundial) ¹	111
Figura 39	– Composição mundial de geração de eletricidade por combustível, 1990-2019.	112
Figura 40	– Índice de Transição Energética para alguns países selecionados, em 2023.	116
Figura 41	– Análise <i>SWOT</i> relacionada aos países da CPLP.	119
Figura 42	– Fluxograma para a modelagem baseada na Lógica <i>Fuzzy</i>	126
Figura 43	– Fluxograma para o cálculo do IDH.	127
Figura 44	– Cálculo através da função de pertinência triangular <i>fuzzy</i>	131
Figura 45	– Raciocínio para a transformação das variáveis de entrada em variáveis <i>fuzzy</i>	132
Figura 46	– Modelagem <i>Fuzzy</i> para a variável IDH.	133
Figura 47	– Modelagem <i>Fuzzy</i> para a variável acesso à eletricidade.	134
Figura 48	– Modelagem <i>Fuzzy</i> para a variável geração de energia.	135
Figura 49	– Modelagem <i>Fuzzy</i> para a variável produção de eletricidade à partir de fontes de energia renováveis.	136
Figura 50	– Modelagem <i>Fuzzy</i> para a variável capacidade de geração instalada.	137
Figura 51	– Modelagem <i>Fuzzy</i> para a variável capacidade de geração instalada.	140
Figura 52	– Sistema de inferência <i>fuzzy</i> para avaliação de um novo índice de desenvolvimento social e eletroenergético para países da CPLP.	142
Figura 53	– Modelagem <i>fuzzy</i> para o novo índice desenvolvido.	144
Figura 54	– Variável de Entrada - IDH.	154
Figura 55	– Variável de Entrada - Acesso à eletricidade.	154
Figura 56	– Variável de Entrada - Geração de energia.	154
Figura 57	– Variável de Entrada - Produção de Eletricidade a partir de Fontes Renováveis.	155

Figura 58	– Variável de Entrada - Capacidade de Geração Instalada.	155
Figura 59	– Sistema de inferência <i>fuzzy</i> implementado no <i>software</i> MATLAB.	155
Figura 60	– Variável de Saída - Novo Índice.	156
Figura 61	– Aplicação das regras <i>fuzzy</i> para o cálculo do novo índice no <i>software</i> MATLAB, para os países Angola, Brasil e Cabo Verde.	157
Figura 62	– Aplicação das regras <i>fuzzy</i> para o cálculo do novo índice no <i>software</i> MATLAB, para os países Guiné-Bissau, Guiné Equatorial e Portugal.	158
Figura 63	– Aplicação das regras <i>fuzzy</i> para o cálculo do novo índice no <i>software</i> MATLAB, para os países Moçambique e Timor-Leste.	159
Figura 64	– Índice de desenvolvimento dos países da CPLP, no contexto da Transição Energética, através do cálculo no <i>software</i> MATLAB.	160
Figura 65	– Capacidade instalada de energia solar ao longo de dez anos.	161
Figura 66	– Capacidade instalada de eólica <i>onshore</i> ao longo de dez anos.	162
Figura 67	– Capacidade instalada de biomassa ao longo de dez anos.	162
Figura 68	– Capacidade instalada de hidráulica ao longo de dez anos.	163
Figura 69	– Correlação da capacidade instalada solar e o IDH dos países.	164
Figura 70	– Correlação da eólica <i>onshore</i> e o IDH dos países.	165
Figura 71	– Correlação da biomassa e o IDH dos países.	165
Figura 72	– Correlação da hidráulica e o IDH dos países.	166
Figura 73	– Histograma da capacidade instalada de eólica (<i>onshore</i>).	167
Figura 74	– Curvas para um dado histórico de velocidade do vento no Brasil no ano de 2014.	168
Figura 75	– Exemplo de diferentes funções de pertinência.	186
Figura 76	– Exemplo de operações entre conjuntos <i>fuzzy</i>	187
Figura 77	– Exemplo de identificação das variáveis x_1 e x_2	188
Figura 78	– Exemplo do processo de <i>fuzzyficação</i>	189
Figura 79	– Exemplo de inferência <i>fuzzy</i>	192
Figura 80	– Exemplo de <i>defuzzyficação</i>	193

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – PIB (em US\$) para os países da CPLP, em 2020.	33
Tabela 2 – Coeficientes de correlação de <i>Pearson</i> (r) para os países da CPLP, Moçambique e Guiné-Bissau.	38
Tabela 3 – Valores dos indicadores para o país Angola.	45
Tabela 4 – Perfil da geração de eletricidade em Angola.	46
Tabela 5 – Valores dos indicadores para o país Brasil.	50
Tabela 6 – Perfil da geração de eletricidade no Brasil.	52
Tabela 7 – Valores dos indicadores para o país Cabo Verde.	56
Tabela 8 – Perfil da geração de eletricidade em Cabo Verde.	59
Tabela 9 – Valores dos indicadores para o país Guiné-Bissau.	63
Tabela 10 – Perfil da geração de eletricidade em Guiné-Bissau.	66
Tabela 11 – Valores dos indicadores para o país Guiné Equatorial.	72
Tabela 12 – Perfil da geração de eletricidade em Guiné Equatorial.	74
Tabela 13 – Valores dos indicadores para o país Portugal.	80
Tabela 14 – Perfil da geração de eletricidade em Portugal.	82
Tabela 15 – Valores dos indicadores para o país Moçambique.	88
Tabela 16 – Perfil da geração de eletricidade em Moçambique.	91
Tabela 17 – Valores dos indicadores para o país São Tomé e Príncipe.	96
Tabela 18 – Perfil da geração de eletricidade em São Tomé e Príncipe.	98
Tabela 19 – Valores dos indicadores para o país Timor-Leste.	104
Tabela 20 – Perfil da geração de eletricidade em Timor-Leste.	106
Tabela 21 – Principais Marcos de Compromissos Globais.	114
Tabela 22 – Quadro resumitivo com os dados dos países da CPLP.	123
Tabela 23 – Variáveis linguísticas <i>fuzzy</i>	137
Tabela 24 – Representação das Regras <i>Fuzzy</i>	141
Tabela 25 – Processo de <i>defuzzificação</i>	144
Tabela 26 – Descrição das fontes renováveis de energia.	148
Tabela 27 – Dados de entrada para os países da CPLP ao longo de dez anos.	150
Tabela 28 – Interpretação dos coeficientes de correlação de <i>Pearson</i>	151
Tabela 29 – <i>Ranking</i> a partir do novo índice.	156
Tabela 30 – Coeficientes de correlação de <i>Pearson</i> (r).	167
Tabela 31 – Representação das Regras <i>Fuzzy</i>	191
Tabela 32 – Classificação do IDH.	195

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGC	Instituto Brasileiro de Governança Corporativa
TBL	Do inglês, <i>Triple Bottom Line</i>
ESG	Do inglês, <i>Environmental, Social e Governance</i>
ASG	Ambiental, Social e Governança
CO ₂	Gás Carbônico
ONU	Organização das Nações Unidas
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática
RELOP	Associação de Reguladores de Energia dos Países de Língua Oficial Portuguesa
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
NASA	Do inglês, <i>National Aeronautics and Space Administration</i>
CPLP	Comunidade dos Países de Língua Portuguesa
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
OMS	Organização Mundial de Saúde
IILP	Instituto Internacional da Língua Portuguesa
PIB	Produto Interno Bruto
Abradee	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
MPLA	Movimento Popular de Libertação de Angola
UNITA	União Nacional para a Independência Total de Angola
EUA	Estados Unidos da América
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
CEIC	Centro de Estudos e Investigação Científica
EUA	Estados Unidos da América
FIFA	Federação Internacional de Futebol
FMI	Fundo Monetário Internacional
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Mercosul	Mercado Comum do Sul
EPOV	Do inglês, <i>Energy Poverty Observatory</i>
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IPEC	Inteligência em Pesquisa e Consultoria Estratégica
BCV	Banco de Cabo Verde
PAM	Programa Alimentar Mundial
EAGB	Empresa de Eletricidade e Água da Guiné-Bissau
PNDES	Plano Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
ANGE	Agência Nacional de Guinea Ecuatorial
AEC	Câmara de Energia Africana
NATO	Do inglês, <i>North Atlantic Treaty Organization</i>
OTAN	Organização Tratado do Atlântico Norte

UE	União Europeia
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
RNC2050	Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050
PNEC	Plano Nacional Energia e Clima
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
GEE	Gases do Efeito Estufa
PRR	Plano de Recuperação e Resiliência
APREN	Associação Portuguesa de Energias Renováveis
PME	Pequenas e Médias Empresas
AbE	Adaptação baseada em Ecossistemas
AEE	Anos Esperados de Escolaridade
AGER	Autoridade Geral de Regulação
AME	Anos Médios de Estudo
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANPG	Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis
ANP-STP	Agência Nacional do Petróleo
ARENE	Autoridade Reguladora de Energia
ARME	Agência Reguladora Multisectorial da Economia
COP	Do inglês, <i>Conference of the Parties</i>
CSP	Energia Solar Concentrada
DJSI	Do inglês, <i>Dow Jones Sustainability Index</i>
EDM	Eletricidade de Moçambique
EI	Índice de Educação
EJ	Eletrojoule
EMAE	Empresa de Água e Eletricidade
ENE	Estratégia Nacional de Eletrificação
ENSE	Entidade Nacional para o Setor Energético
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ETI	Do inglês, <i>Energy Transition Index</i>
EV	Expectativa de Vida ao nascer
FRELIMO	Frente de Libertação de Moçambique
IAEE	índice dos Anos Esperados de Escolaridade
IAME	Índice dos Anos Médios de Estudo
IDE	Investimento Direto Estrangeiro
IEA	Do inglês, <i>International Energy Agency</i>
INDC	Contribuição Pretendida Nacionalmente Determinada
INP	Instituto Nacional do Petróleo
IoT	Do inglês, <i>Internet of Things</i>
IRDP	Instituto Regulador dos Derivados do Petróleo da Republica
IRENA	Do inglês, <i>International Renewable Energy Agency</i>
ISF	Do inglês, <i>International Stabilization Force</i>

ISO	Do inglês, <i>International Organization for Standardization</i>
ISRSEA	Instituto Regulador dos Serviços de Eletricidade e Água
NAP-GSP	Programa de Apoio Global do Plano de Adaptação Nacional das Nações Unidas
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
PANER	Plano de Ação Nacional das Energias Renováveis
PDER	Plano de Eletrificação Rural
PDSE	Programa de Desenvolvimento do Setor Elétrico
PED	Plano Estratégico de Desenvolvimento
PIS	Programa de Investimento Setorial
PNA	Plano Nacional de Adaptação
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
pp	Pontos percentuais
PRI	Princípios de Investimento Responsável
PV	Do inglês, <i>photovoltaic</i>
REDD+	Redução de Emissões provenientes do Desmatamento e da Degradação florestal
RENAMO	Resistência Nacional de Moçambique
SWOT	Do inglês, <i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats</i>
Unctad	Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento
UNDP	Do inglês, <i>United Nations Development Programme</i>
UNFCCC	Do inglês, <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UNMIT	Do inglês, <i>UN Integrated Mission in Timor-Leste</i>
AIE	Agência Internacional de Energia
IA	Inteligência Artificial
COG	Método de cálculo centro de gravidade

LISTA DE SÍMBOLOS

X_i	Representação da variável de entrada IDH
Y_i	Representação da variável de entrada acesso à eletricidade
Z_i	Representação da variável de entrada geração de energia
A_i	Representação da variável de entrada produção de eletricidade a partir de fontes renováveis
B_i	Representação da variável de entrada capacidade de geração instalada
i	Representação dos nove países da CPLP
$U(X_i)$	Conjunto <i>fuzzy</i> associado à variável de entrada IDH
$U(Y_i)$	Conjunto <i>fuzzy</i> associado à variável de entrada acesso à eletricidade
$U(Z_i)$	Conjunto <i>fuzzy</i> associado à variável de entrada geração de energia
$U(A_i)$	Conjunto <i>fuzzy</i> associado à variável de produção de eletricidade a partir de fontes renováveis
$U(B_i)$	Conjunto <i>fuzzy</i> associado à variável de capacidade de geração instalada
$\mu_B(x_i)$	Função de pertinência (Baixo) associada à variável de entrada IDH
$\mu_M(x_i)$	Função de pertinência (Médio) associada à variável de entrada IDH
$\mu_A(x_i)$	Função de pertinência (Alto) associada à variável de entrada IDH
$\mu_{ruim}(y_i)$	Função de pertinência (Ruim) associada à variável de entrada acesso à eletricidade
$\mu_{regular}(y_i)$	Função de pertinência (Regular) associada à variável de entrada acesso à eletricidade
$\mu_{bom}(y_i)$	Função de pertinência (Bom) associada à variável de entrada acesso à eletricidade
$\mu_{ruim}(z_i)$	Função de pertinência (Ruim) associada à variável de entrada geração de energia
$\mu_{regular}(z_i)$	Função de pertinência (Regular) associada à variável de entrada geração de energia
$\mu_{bom}(z_i)$	Função de pertinência (Bom) associada à variável de entrada geração de energia
$\mu_{ruim}(a_i)$	Função de pertinência (Ruim) associada à variável de entrada produção de eletricidade a partir de fontes renováveis
$\mu_{regular}(a_i)$	Função de pertinência (Regular) associada à variável de entrada produção de eletricidade a partir de fontes renováveis
$\mu_{bom}(a_i)$	Função de pertinência (Bom) associada à variável de entrada produção de eletricidade a partir de fontes renováveis
$\mu_{ruim}(b_i)$	Função de pertinência (Ruim) associada à variável de entrada capacidade de geração instalada
$\mu_{regular}(b_i)$	Função de pertinência (Regular) associada à variável de entrada capacidade de geração instalada

$\mu_{bom}(b_i)$	Função de pertinência (Bom) associada à variável de entrada capacidade de geração instalada
F_i	Representação da variável de saída novo índice
$U(F_i)$	Conjunto <i>fuzzy</i> associado à variável de saída novo índice
$\mu_B(f_i)$	Função de pertinência (Baixo) associada à variável de saída novo índice
$\mu_M(f_i)$	Função de pertinência (Médio) associada à variável de saída novo índice
$\mu_A(f_i)$	Função de pertinência (Alto) associada à variável de saída novo índice
r	Coefficiente de Correlação de <i>Pearson</i>
X	Representa as variáveis independentes na correlação de <i>Pearson</i>
Y	Representa as variáveis dependentes na correlação de <i>Pearson</i>
x_i	Representa valores da i-ésima individual de X na correlação de <i>Pearson</i>
y_i	Representa valores da i-ésima individual de Y na correlação de <i>Pearson</i>
\mathbb{R}	Conjunto dos números reais
x	Representa todos os valores possíveis da variável X
X	Elemento do conjunto
$\mu_{A:X}$	função de pertinência associa a cada elemento x pertencente a X um número real no intervalo $[0,1]$
A	Conjunto <i>fuzzy</i> associado a variável de entrada de um sistema <i>fuzzy</i>
B	Conjunto <i>fuzzy</i> associado a variável de saída de um sistema <i>fuzzy</i>
\cup	Operação de união
\cap	Operação de interseção
\neg	Operação de complementação
$\mu_{Y(x)}$	Função de pertinência do conjunto <i>fuzzy</i> resultante pelo método (<i>COG</i>)
EV	Expectativa de vida ao nascer
AME	Anos Médios de Estudo
AEE	Anos Esperados de Escolaridade
EI	Índice de Educação
IR	Índice de Renda
PIB_{pc}	Produto Interno Bruto per capita
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
$f(v)$	Cálculo da distribuição de <i>Rayleigh</i> ou <i>Weibull</i>
v	Velocidade do vento [m/s]
k	Fator de forma (adimensional)
c	Fator de escala [m/s]
δ	Variável Delta
β	Variável Beta

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	19
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	19
1.2	JUSTIFICATIVA	23
1.3	OBJETIVOS	24
1.4	ESTADO DA ARTE	25
1.5	PUBLICAÇÃO RESULTANTE	27
1.6	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	27
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: CPLP E TRANSIÇÃO ENER- GÉTICA	29
2.1	CPLP	29
2.1.1	Angola	41
2.1.2	Brasil	47
2.1.3	Cabo Verde	53
2.1.4	Guiné-Bissau	59
2.1.5	Guiné Equatorial	67
2.1.6	Portugal	75
2.1.7	Moçambique	84
2.1.8	São Tomé e Príncipe	93
2.1.9	Timor-Leste	100
2.2	RELOP	107
2.3	TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	110
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DE CAPÍTULO	118
3	METODOLOGIA PROPOSTA	124
3.1	LÓGICA <i>FUZZY</i>	124
3.1.1	Levantamento e seleção de dados	126
3.1.2	Transformando os indicadores em variáveis <i>fuzzy</i>	131
3.1.3	Tratamento das informações - <i>fuzzyficação</i> de variáveis	139
3.1.4	O sistema de avaliação: visão geral	142
3.1.5	O processo de <i>defuzzyficação</i> e elaboração do novo índice	142
3.2	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	145
3.2.1	Definições e dados de entrada	146
3.2.2	Correlação de <i>Pearson</i>	151
3.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	151
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	153
4.1	RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA LÓGICA <i>FUZZY</i>	153
4.2	RESULTADOS OBTIDOS NAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS	161
4.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	169

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	170
5.1	CONCLUSÕES	170
5.2	PROPOSTAS DE CONTINUIDADE	172
	REFERÊNCIAS	174
	APÊNDICE A – A LÓGICA <i>FUZZY</i> E MATEMÁTICA DI- FUSA	185
	APÊNDICE B – O ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HU- MANO (IDH)	194
	APÊNDICE C – DISTRIBUIÇÕES DE <i>RAYLEIGH</i> E <i>WEI- BULL</i>	197

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo apresenta uma contextualização acerca do trabalho de pesquisa proposto o qual se caracteriza pelo estudo e análise da relação de aspectos eletroenergéticos e sociais dos países pertencentes a Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP) e também visa avaliar a correlação entre os indicadores do crescimento no uso de tecnologias de energia renováveis e o índice de desenvolvimento humano (IDH) nestes países, no contexto da transição energética.

Ademais, o capítulo explora o conceito de transição energética, abordando não apenas sua sustentabilidade econômico-financeira, mas também seus impactos nos aspectos humanos, sociais e ambientais. A motivação para este estudo reside na necessidade de uma análise abrangente e integrada dos indicadores relacionados à energia, ao desenvolvimento social e humano. É crucial reconhecer a diversidade de abordagens na transição energética, que ocorre de forma desigual em países com características distintas. Portanto, sua avaliação não deve ser limitada a um único prisma, mas sim considerar os múltiplos aspectos que permeiam essa temática e que impactam direta ou indiretamente na transição energética global.

Adicionalmente, neste capítulo introdutório, apresenta-se o objetivo geral e os específicos da pesquisa, bem como o estado da arte e as publicações resultantes da mesma.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Um dos desafios mais complexos, urgentes e transformadores da sociedade global é aliar os conceitos de desenvolvimento e sustentabilidade. Segundo o Instituto Brasileiro de Governança Corporativa, encontrar meios para viabilizar uma vida digna para todos, a qual supere as desigualdades e seja próspera para a população dentro dos limites planetários, exigirá a mobilização de todos os agentes e uma redefinição da maneira como se faz os negócios e as políticas públicas (Ibgc, 2022).

Desde a década de 1980, o conceito de desenvolvimento sustentável vem tomando destaque e tendo uma dimensão não apenas ética, mas também trazendo uma orientação pragmática para práticas com maior responsabilidade socioambiental. Além disso, na década de 1990, o autor britânico John Elkington (Elkington, 2018) elaborou uma visão baseada na análise do impacto social, ambiental e econômico de uma organização, empresa e, conseqüentemente, de uma sociedade, a qual recebeu o nome de *Triple Bottom Line* (TBL), ou, no português, “tripé da sustentabilidade”, representado na Figura 1.

Figura 1 – Conceito *Triple Bottom Line* (TBL).



Fonte: Autora, de acordo com o conceito desenvolvido por John Elkington (Elkington, 2018).

Neste sentido, cada vez mais, o mundo precisará almejar um desenvolvimento mais sustentável considerando aspectos sociais, ambientais, financeiros e humanitários. Portanto, o desenvolvimento econômico de um país deve estar diretamente relacionado ao desenvolvimento socioambiental. Neste contexto, surge o termo ESG, sigla em inglês, para *Environmental, Social e Governance* ou, em português, ASG - Ambiental, Social e Governança - mencionado pela primeira vez na publicação *Who Cares Wins*, de 2004 (Ibgc, 2022). Tal conceito vem sendo adotado pelo mercado financeiro para melhor avaliar os riscos e as oportunidades associados às decisões de investimento. Porém, ESG não é apenas um conceito, mas um acrônimo que expressa os critérios ambientais, sociais e de governança, visando avaliar o avanço das diversas organizações e sociedade em direção à sustentabilidade (Ibgc, 2022).

Portanto, um tema muito presente neste cenário, é o processo de transição ou transformação energética, que deve ser realizado pelos países, uma vez que para atingir a sustentabilidade, necessita-se de uma matriz energética predominantemente limpa (Irena, 2023b). O tema de descarbonização da matriz energética vem sendo discutido com mais ênfase desde a implementação do Protocolo de Quioto, o qual estabelece critérios mais rígidos para a emissão dos gases que provocam o efeito estufa a nível mundial, instituindo

metas para a redução da emissão de CO_2 , por parte dos países mais industrializados do planeta e estabelecendo o mercado de crédito de carbono (Ibge, 2022).

Essa discussão têm alcançado novos patamares com a elaboração do Acordo de Paris, em 2015, abordando as questões relacionadas às mudanças climáticas, além da criação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e a Agenda 2030 pela Organização das Nações Unidas (ONU). Portanto, almeja-se diminuir o uso de fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis e seguir para um cenário em que fontes renováveis alternativas são priorizadas (Silveira, 2022).

Tal fato pode ser corroborado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*), o qual destacou que, para atingir o desafio de limitar o aumento da temperatura média mundial em $1,5^\circ C$, será necessário reduzir em 45% as emissões até 2030 e chegar a zero por cento de emissões líquidas até 2050. Segundo (Ipcc, 2022), cada décimo de grau de aquecimento aumenta as ameaças às pessoas, espécies e ecossistemas, e a meta global, determinada no Acordo de Paris, de limitar a temperatura terrestre em $1,5^\circ C$, já não é tão fácil de ser alcançada segundo o relatório do IPCC. Tal fato coloca a eletrificação de fontes renováveis no epicentro da descarbonização, com a necessidade fundamental de essa se tornar a mais sustentável solução para setores como os transportes ou de construção, nos quais predominam atualmente a utilização de energias altamente poluentes, por exemplo.

Por consequência, devido ao atual crescimento do uso de fontes de energia renovável ao redor do mundo, o conceito de transição energética se estabeleceu como uma transformação estrutural no sistema energético (Vanegas Cantarero, 2020; Chen *et al.*, 2019). São exemplos de renováveis as fontes Hídrica, Solar, Eólica, Biomassa, Geotérmica, Oceânica e, atualmente, o desenvolvimento do Hidrogênio Verde. Em uma visão geral sobre a transição energética, segundo (Bompard *et al.*, 2020), aspectos imperativos devem ser fundamentados no **triângulo da energia**, visando à garantia de:

- i. Segurança e acessibilidade à população, garantindo qualidade do serviço;
- ii. Sustentabilidade ambiental e redução de impactos ao meio ambiente por meio de ações que visem melhorar a eficiência energética;
- iii. Desenvolvimento e crescimento econômico.

Manter o equilíbrio entre esses três eixos é de fundamental importância dependendo de políticas públicas de cada país que envolvem incentivos à utilização de fontes renováveis e retirada de subsídios de combustíveis fósseis (Vanegas Cantarero, 2020; Chen *et al.*, 2019; Bompard *et al.*, 2020). Além disso, o crescimento de fontes renováveis ocorre de maneira diferente em cada país, cabendo a cada um regular e facilitar o desenvolvimento tecnológico visando a descarbonização do meio ambiente, acessibilidade e digitalização.

É possível quantificar a qualidade de vida de uma nação pelo consumo da energia per capita (Mazur, 2011; Nadimi; Tokimatsu, 2018). A disponibilidade da energia elétrica impacta fatores como acesso a serviços básicos, melhoria na produção agrícola, acesso à água encanada, geração de empregos e incremento na renda da população local. De acordo com (Vaz; Farret, 2020), observa-se que existem fortes relações entre o consumo de energia e o desenvolvimento econômico de um país. Entretanto, cada nação lida com seus próprios desafios justificado por uma série de fatores estruturais, sociais, de cunho político e econômico.

A diversidade cultural e de desenvolvimento social, econômico e humano nos países ao redor do mundo é considerável. Entretanto, pautados em contextualização histórica, pontos em comum são notados em alguns países motivando os mesmos a se unirem a partir de laços, físicos ou não, incluindo afinidades culturais e utilização de uma mesma língua, por exemplo. Neste sentido, a Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP) foi criada em 17 de julho de 1996, em Lisboa, e é constituída por nove Estados-Membros: Portugal, Brasil, Angola, Cabo Verde, Guiné-Bissau, Moçambique, São Tomé e Príncipe, Timor-Leste e Guiné Equatorial (CPLP, 2023). A CPLP é uma organização internacional formada por países lusófonos cujo objetivo é o aprofundamento das relações e cooperação entre os seus membros visando a promoção e defesa da língua portuguesa, através de um diálogo cultural (Costa, 2019).

Com o objetivo de estreitar sua relação, em 2008, alguns países da CPLP estabeleceram uma plataforma para facilitar e fomentar o compartilhamento de experiências, conhecida como Associação de Reguladores de Energia dos Países de Língua Oficial Portuguesa (RELOP). Sua criação é baseada na intenção em promover a cooperação entre entidades relacionadas à regulação no setor energético nos países lusófonos considerando o uso da eletricidade, gás natural, biocombustível, petróleo e seus derivados (Relop, 2023).

Apesar dos traços culturais semelhantes e estabelecimento de cooperação através de associações internacionais, os países da CPLP possuem diversidade expressiva em relação, por exemplo, aos índices de desenvolvimento humano e uso de fontes renováveis. Uma vez que esses parâmetros possuem forte relação entre si, torna-se necessário averiguar esses países sob a ótica da transição energética, através da relação entre tais indicadores.

Neste sentido, há a necessidade de relacionar o crescimento da utilização de fontes de energias renováveis com o índice de desenvolvimento humano dos países. Com este propósito, o trabalho apresenta um estudo para analisar de maneira quantitativa e qualitativa os dados eletroenergéticos dos países da CPLP através de um sistema de inferência *fuzzy* que consiga correlacionar aspectos sociais e energéticos. Desta forma, foi desenvolvido um estudo dos principais indicadores de energia incluindo o acesso à eletricidade; produção de energia; consumo de energia; uso de energias renováveis e capacidade de geração instalada, bem como o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)

destes países, com o objetivo de utilizá-los como referência para a elaboração de um novo índice para retratar a situação destes países de forma mais realística, levando em consideração principalmente os indicadores relacionados à energia, além do IDH. Ademais, este trabalho também apresenta uma análise da correlação entre os indicadores do crescimento no uso de energias renováveis e o IDH atestando a necessidade de avaliar conjuntamente os aspectos já mencionados.

1.2 JUSTIFICATIVA

Através de uma revisão da literatura minuciosamente detalhada neste trabalho, nota-se que, apesar de ser um assunto muito discutido nas últimas décadas, o desenvolvimento humano ainda é pouco relacionado com o aspecto eletroenergético da sociedade. Portanto, este trabalho têm como principal justificativa a necessidade de relacionar, através de um modelo de inteligência artificial, variáveis de desenvolvimento humano com as de aspectos eletroenergéticos nos países. Portanto, para o estudo realizado, propôs-se um recorte de pesquisa considerando países que compõem a CPLP motivado pelo fato de que esses são países diversos, com diferentes culturas, política e desenvolvimento econômico. Porém, alguns desses países fazem parte de um mesmo grupo no segmento energético, a RELOP. Além disso, consistem em uma amostra mundial representativa devido à diversidade entre eles.

A maior motivação para a realização desta pesquisa foram os índices extremamente baixos relacionados aos aspectos eletroenergéticos dos países da CPLP principalmente situados no continente africano. A Figura 2 é uma fotografia do Planeta Terra tirada do espaço, em 2016, pela Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço do Governo Federal dos Estados Unidos ou do inglês, *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (Nasa, 2018). Esta imagem, mesmo sendo tirada há anos atrás, ainda reflete de forma explícita o problema dos países africanos com relação à energia, o que motivou a exploração de tais índices e também a relação da energia elétrica com o desenvolvimento social e econômico dos países, dando ênfase à necessidade de investimento nos países africanos para que a população possa ter acesso à energia elétrica e, assim, atingirem um desenvolvimento maior nos aspectos econômicos e socioambientais.

Figura 2 – Fotografia do Planeta Terra tirada do espaço pela NASA.



Fonte: (Nasa, 2018).

Este trabalho também foi motivado pela diferença das estratégias adotadas por cada país-membro da CPLP em relação à temática da transição energética, pela falta de estudos que analisem especificamente a relação do desenvolvimento econômico e socioambiental com os aspectos de energia elétrica nos países lusófonos e a necessidade de averiguar o crescimento de uso de fontes renováveis e sua relação com emissão de carbono na atmosfera.

Destaca-se como contribuição deste trabalho a proposição de novos índices para a avaliação da transição energética dos países pertencentes à CPLP, considerando aspectos sociais e eletroenergéticos demonstrando a correlação entre os indicadores do crescimento no uso de energias renováveis e o índice de desenvolvimento humano nestes países. O desenvolvimento do problema proposto é realizado através do uso da técnica de inteligência artificial sendo a lógica *fuzzy* utilizada para tal propósito. Baseando-se nas simulações realizadas, pode-se comparar o desempenho entre os países e tirar conclusões acerca da transição energética e investimentos em fontes renováveis de forma mais realística e compatível com a realidade de cada país.

1.3 OBJETIVOS

Como objetivo geral, almeja-se compreender a relação dos aspectos humano e social com os energéticos relacionados aos países da CPLP, no contexto da transição energética. Tal objetivo será alcançado através do estudo e uso da lógica *fuzzy*. Será utilizada uma proposição de um sistema de inferência *fuzzy* para analisar alguns indicadores sociais e energéticos relevantes dos países.

Propõe-se analisar de maneira quantitativa e qualitativa os dados eletroenergéticos através de um sistema de inferência *fuzzy* que consiga correlacionar aspectos sociais e

relacionados à energia dos países da CPLP.

Com relação aos objetivos específicos, compõem-se em:

1. Formular um novo índice que relacione aspectos sociais e eletroenergéticos;
2. Análise da correlação entre os indicadores do crescimento no uso de energias renováveis e o índice de desenvolvimento humano;
3. Abordagem do cenário da transição energética nos países lusófonos;
4. Apresentar um panorama de como está sendo a utilização das fontes renováveis de energia e a matriz elétrica nos países da CPLP;
5. Avaliar os impactos dessas variáveis (social, ambiental e energética) no desenvolvimento econômico dos países da CPLP.

1.4 ESTADO DA ARTE

A Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP) surge como um espaço estratégico para colaboração e troca de conhecimentos em meio à transição energética global. Com nove países, cada um com suas realidades socioeconômicas e recursos naturais, a CPLP tem o potencial de influenciar mudanças significativas no panorama energético mundial. Nesse contexto, nesta seção, apresenta-se os principais estudos, políticas, estratégias e iniciativas cooperativas que vêm sendo implementadas no âmbito da CPLP, focando na promoção da sustentabilidade, eficiência energética e diversificação da matriz energética. Por meio de uma análise aprofundada da literatura existente, esta dissertação visa oferecer compreensões significativas sobre o papel preponderante que a CPLP pode desempenhar na condução de uma transição energética rumo a um futuro mais limpo, resiliente e inclusivo, tirando proveito dos recursos disponíveis e fomentando o desenvolvimento sustentável.

Na referência (Duarte; Albuquerque; Tavares, 2023), os autores discutem a importância dos países da CPLP, analisando seu "acesso e segurança" em relação à transição energética usando o Índice de Transição Energética, destacando o potencial destes países como exemplos para apoiar transformações energéticas globais. Também é ressaltada a necessidade de novos índices para avaliar a situação e potencial de transição energética, enfatizando a urgência desse desenvolvimento para a pesquisa. Além disso, os autores destacam a interconexão entre a evolução humana e as transições energéticas, sublinhando a necessidade premente de uma transição acelerada para um modelo sustentável baseado em fontes renováveis de energia.

O artigo (Lapão, 2020) discute a desafiadora tarefa de alcançar os objetivos da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU), destacando a redução no financiamento internacional disponível para apoiar

os países em desenvolvimento. A pandemia de COVID-19 ampliou essa preocupação, levando a um aumento nos programas de cooperação não regular baseados em ações humanitárias. Estratégias que integram os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável de forma horizontal são consideradas essenciais para fortalecer alianças, parcerias e mecanismos de financiamento compartilhados, promovendo assim o compromisso com o desenvolvimento sustentável. O artigo também explora como os instrumentos de cooperação para o desenvolvimento da CPLP podem impulsionar a cooperação pós-pandemia em sintonia com os ODS.

De acordo com o estudo (Carneiro *et al.*, 2015), a captura e armazenamento de CO_2 (CCS) não são considerados prioritários pelas autoridades dos países da CPLP, exceto pelo Brasil e Portugal, que têm participado de atividades de CCS há diversos anos. Os demais países da CPLP, reconhecidos como altamente vulneráveis às mudanças climáticas, nunca discutiram a relevância do CCS para suas políticas ambientais. O estudo busca colocar a CCS na agenda desses países, fornecendo uma visão geral de seus perfis industriais, energéticos e de emissões de CO_2 , além de discutir as oportunidades de armazenamento. O Brasil e Portugal são mencionados apenas em termos de suas atividades anteriores ou em curso, relacionadas à CCS.

Conforme mencionado por (Sousa *et al.*, 2014), a CPLP, unida pela língua, é vista como um refúgio que pode impulsionar o crescimento econômico de Portugal em um contexto globalizado e altamente competitivo. Diante da profunda crise econômica atual, com alta dívida soberana e recessão, Portugal enfrenta desafios significativos que requerem reformas urgentes, especialmente estruturais. O desenvolvimento econômico e a criação de empregos são considerados fundamentais para resolver os problemas do país. A CPLP é percebida como uma oportunidade de mercado com cerca de 280 milhões de pessoas, além de uma potência internacional, indo além de uma mera associação linguística. No entanto, há desafios a serem superados, incluindo a livre circulação de pessoas e bens e a promoção de uma cidadania comum. Com a crise na Europa, os mercados lusófonos são vistos como uma oportunidade, mas alcançar esse objetivo exigirá incentivos políticos e persistência entre os países membros.

No contexto de transição energética, o artigo (Sovacool; Dworkin, 2015) discute como conceitos de justiça, filosofia e ética podem influenciar consumidores e produtores de energia, destacando a importância da justiça energética como uma ferramenta conceitual inovadora que integra preocupações de distribuição e procedimentos de justiça. A justiça energética é vista como essencial para compreender como os valores são incorporados aos sistemas de energia e podem resolver problemas comuns de energia. O estudo apresenta também um *framework* de justiça energética, buscando melhorar a qualidade de vida das pessoas, levando em conta suas capacidades, com o objetivo de auxiliar, tanto os planejadores de energia, quanto os consumidores, a fazerem escolhas energéticas mais eficazes.

Por fim, é inegável a relevância da temática de transição energética nos tempos atuais, neste sentido, o artigo (Arlota; Costa, 2021), aborda a transição energética e seu papel na reconciliação das necessidades humanas com os interesses sociais, ambientais e econômicos. À medida que a conscientização sobre as mudanças climáticas aumenta, há uma pressão crescente sobre diversos setores da sociedade e partes interessadas, alterando significativamente o papel atribuído a cada grupo, incluindo empresas, consumidores, acadêmicos e tomadores de decisão na política. Discute-se a importância da justiça climática e ambiental, acesso à energia e uma transição energética equitativa, que são tópicos recorrentes presentes na literatura. Também é explorado como definir quem deve ser ouvido na formulação de políticas de transição energética, tanto em âmbito nacional quanto internacional. Concluindo, o artigo propõe uma abordagem moderna que discute a interação entre mudanças climáticas, transição energética e novas perspectivas sobre justiça, destacando como formuladores de políticas e acadêmicos podem ser melhores equipados para lidar com os desafios futuros, e expressa cauteloso otimismo em relação ao futuro, considerando que justiça e equidade podem ser avaliadas e incorporadas em todas as esferas.

1.5 PUBLICAÇÃO RESULTANTE

O desenvolvimento desta pesquisa resultou na publicação do seguinte artigo:

1. OLIVEIRA DA COSTA, Luana; MELO, Igor D.; TEIXEIRA, Mariana O N; ALMEIDA, Vitor; SANTOS, Alexandre Bessa. Análise da Correlação de Energias Renováveis e Desenvolvimento Humano entre Países da CPLP no contexto da Transição Energética. Anais da XIV Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica - CBQEE 2021.

1.6 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Este documento está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo tem caráter introdutório, no qual é possível encontrar a justificativa para a realização do trabalho de pesquisa, os objetivos gerais e específicos, o estado da arte, assim como a estruturação do documento.

O segundo capítulo aborda a fundamentação teórica realizada para entendimento pleno do trabalho como a descrição da CPLP através da apresentação de cada país pertencente ao grupo, trazendo um breve estudo sobre seus aspectos geopolíticos, econômicos, energéticos, sociais, ambientais e humano. Neste capítulo, também é feita a apresentação sobre a RELOP explicando sobre sua formação e propósito. A temática da transição energética também é apresentada introduzindo o conceito de transição energética sustentável.

No final do capítulo, é exposto um quadro resumitivo onde serão exibidas informações relevantes sobre os países estudados.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia proposta contendo o processo de levantamento e seleção dos dados, o tratamento dessas informações, bem como a *fuzzyficação* das variáveis utilizadas, o sistema de inferência *fuzzy* escolhido, o processo de *defuzzyficação* e, finalmente, a elaboração do índice para a avaliação da transição energética dos países pertencentes à CPLP. Adicionalmente, é feita uma análise estatística criteriosa realizada através dos dados levantados para o desenvolvimento da pesquisa.

No quarto capítulo são exibidos os principais resultados e discussões acerca do tema, relacionados as comparações dos dados obtidos, as principais discussões sobre as análises estatísticas realizadas e a avaliação dos índices para os países analisados.

No quinto capítulo, é feita a conclusão sobre o que foi dissertado ao longo do trabalho e as propostas de continuidade da pesquisa.

No Apêndice A é mostrado a modelagem matemática desenvolvida para a lógica *fuzzy* e os principais conceitos relacionados, tais como principais operações matemáticas e as etapas do processo para a aplicação da metodologia difusa. No Apêndice B é apresentado os principais conceitos e formulação matemática utilizada para o desenvolvimento do cálculo do índice de desenvolvimento humano (IDH), de acordo com a metodologia utilizada pelo PNUD. Por fim, no Apêndice C são exibidas as formulações matemáticas para a distribuição de *Rayleigh* e de *Weibull* para a aproximação do comportamento do vento, para as fontes de energia renováveis, eólica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: CPLP E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Este capítulo é focado na apresentação dos países que fazem parte da CPLP e nos principais indicadores humano, sociais e energéticos utilizados no desenvolvimento da pesquisa proposta. Ademais, o presente capítulo apresenta o contexto histórico, objetivos da formação da CPLP e também da Associação de Reguladores de Energia dos Países de Língua Oficial Portuguesa (RELOP).

Ao longo deste capítulo, disserta-se sobre o conceito de transição energética, também conhecido atualmente por transformação energética, devido à profunda mudança de padrões que trará à sociedade e ao planeta. A transformação energética é associada normalmente às modificações necessárias para a migração de uma matriz energética baseada em combustíveis fósseis para uma de fontes renováveis e de baixo teor de carbono e emissões de gases poluentes (Goldemberg; Coelho; Lucon, 2004). Apesar de, recentemente, o conceito ter passado a ser amplamente utilizado para referenciar esse processo de descarbonização, quando é analisada a trajetória de desenvolvimento do setor de energia, percebe-se um espectro mais amplo de transformações sociais, políticas, tecnológicas e econômicas relacionadas ao tema (Hughes, 1993).

Uma análise das principais fontes de energia renováveis existentes também é exposta ao final deste capítulo, bem como a apresentação sobre a temática de transição energética e a relação entre energia, desenvolvimento, meio ambiente e sociedade.

2.1 CPLP

A Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP) foi criada em 17 de julho de 1996, em Lisboa, e a mesma é constituída por nove Estados-Membros incluindo Angola, Brasil, Cabo Verde, Guiné-Bissau, Guiné Equatorial, Portugal, Moçambique, São Tomé e Príncipe e Timor-Leste, os quais serão apresentados ao longo deste capítulo. A Figura 3 mostra a localização de cada um dos países da CPLP no mapa-múndi.

Figura 3 – Mapa com a localização geográfica dos países da CPLP.



Fonte: Autora, com auxílio do *website* (Mapchart, 2023).

A Declaração Constitutiva da CPLP (Lisboa, 1996) objetiva “*dinamizar e aprofundar a cooperação no domínio universitário, na formação profissional e nos diversos setores de investigação científica e tecnológica para uma crescente valorização dos seus recursos humanos e naturais, bem como promover e reforçar as políticas de formação de quadros*” (CPLP, 2023). Destaca-se, também, que a cooperação multilateral com relação ao tema de Educação assume um importante destaque na comunidade.

De forma geral, a CPLP tem como principal objetivo a concertação político-diplomática e a cooperação em todas as suas formas bem como a promoção e defesa da Língua Portuguesa através de um intenso diálogo cultural (CPLP, 2023). Além disso, também pode-se destacar como objetivos específicos:

1. Desenvolvimento da cooperação econômica e empresarial entre os países membros, valorizando o seu potencial por meio de projetos de interesse comum, com um trabalho multilateral;
2. Promoção e coordenação das atividades de entidades públicas e privadas, associações e organizações não-governamentais;
3. Incentivo a cooperação bilateral e multilateral, com foco no desenvolvimento socio-ambiental.

Não são utilizados apenas recursos cedidos pelos governos dos países membros, mas também, de forma crescente, os meios disponibilizados através de parcerias com

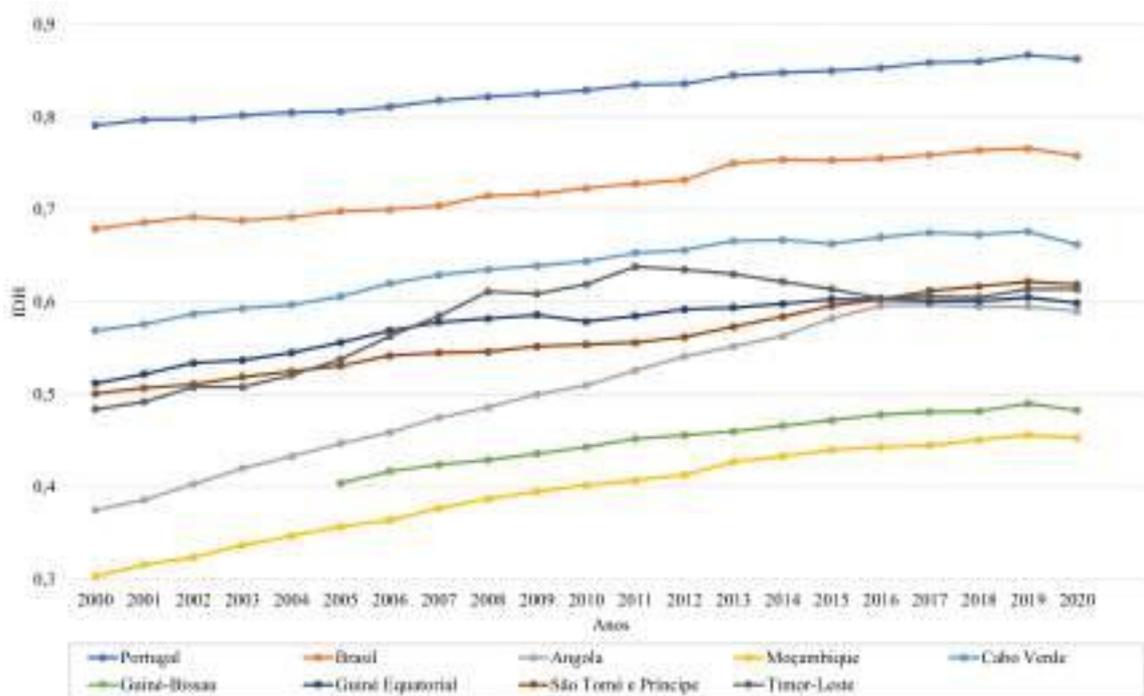
outros organismos internacionais, organizações não-governamentais, empresas e entidades privadas, interessadas no apoio ao desenvolvimento social e econômico dos países de língua portuguesa. No aspecto político-diplomático, nota-se um crescimento nos interesses e necessidades comuns em organizações multilaterais, como, por exemplo, a Organização das Nações Unidas (ONU), a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) e a Organização Mundial de Saúde (OMS), conforme (Cplp, 2023).

Nos fóruns regionais e nas negociações internacionais políticas e econômicas, a CPLP fortalece o potencial de negociação de seus Estados-membros, buscando uma cooperação econômica mais consistente entre os nove países membros e outros atores relevantes. Simultaneamente, há um crescente desenvolvimento na cooperação empresarial. Destaca-se ainda o papel do Instituto Internacional da Língua Portuguesa (IILP), sediado em Cabo Verde, e do Secretariado Executivo da CPLP, que promovem parcerias para iniciativas na promoção e difusão da língua portuguesa (Cplp, 2023).

Para os estudos desenvolvidos neste trabalho considerou-se o universo dos nove países pertencentes à CPLP. Aspectos relacionados ao desenvolvimento humano (IDH), econômico (PIB) e eletroenergéticos (acesso à eletricidade, geração e consumo de energia, capacidade de geração instalada e uso de energias renováveis) serão analisados e apresentados nos próximos capítulos.

Com relação ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), os nove países da CPLP se apresentam conforme mostrado na Figura 4. O IDH é uma medida resumida do progresso a longo prazo em três dimensões básicas do desenvolvimento humano: renda, educação e saúde. O índice possui escala de 0 a 1. Para o ano de 2020, observa-se que dentre os países estudados, Portugal (0,863) e Brasil (0,758) são os que apresentam os maiores índices de desenvolvimento humano, seguido por Cabo Verde (0,662). Angola (0,590), Guiné Equatorial (0,599), Timor-Leste (0,614) e São Tomé e Príncipe (0,619) possuem IDH próximos, porém em ordem crescente. Destaca-se que o Timor-Leste apresentou uma queda considerável a partir do ano de 2011. Por fim, os países que apresentam os menores índices de IDH são Guiné-Bissau (0,483) e Moçambique (0,453). Os dados de IDH foram extraídos do *Human Development Reports* (Undp, 2023), do Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (ONU).

Figura 4 – Variação do IDH nos nove países da CPLP ao longo de 20 anos.



Fonte: Autora, com os dados extraídos do (Undp, 2023).

Quando se compara os nove países da CPLP, com relação ao Produto Interno Bruto (PIB), nota-se que o Brasil se destaca, de forma considerável, com o maior PIB, cerca de 1,45 trilhões de dólares em 2020. Em seguida, Portugal, com 229,03 bilhões de dólares. Dentre os países do continente africano, Angola é o que mais se destaca, com o maior PIB, de 53,62 bilhões de dólares. Em ordem decrescente, tem-se Moçambique (14,03 bilhões de dólares), Guiné Equatorial (10,10 bilhões de dólares), Timor-Leste (2,16 bilhões de dólares), Cabo Verde (1,70 bilhões de dólares), Guiné-Bissau (1,43 bilhões de dólares) e São Tomé e Príncipe (0,47 bilhões de dólares). Tais dados foram extraídos da base de dados do Banco Mundial (Bank, 2023e), conforme evidenciado na Tabela 1.

O gráfico representado na Figura 5 apresenta a variação do PIB nos nove países da CPLP ao longo de 20 anos. Vale destacar a variação expressiva de Guiné Equatorial, que é justificada, principalmente, pela descoberta de grandes reservas de petróleo em seu território. Conseqüentemente, o aumento dos preços do petróleo no mercado internacional também contribuiu para uma maior receita de exportação e, portanto, para o crescimento do PIB no país, a partir do ano 2000 (Carvalho, 2018). Após um longo período, o preço do mercado internacional petrolífero registrou uma queda, justificando algumas variações negativas do PIB do país e a maior volatilidade da curva, principalmente devido a má gestão política e dependência do petróleo no país (Paiva *et al.*, 2023).

Por outro lado, Timor-Leste registra uma variação positiva a partir de 2018, devido a maior estabilidade política e implementação de novos projetos públicos no país. Além da

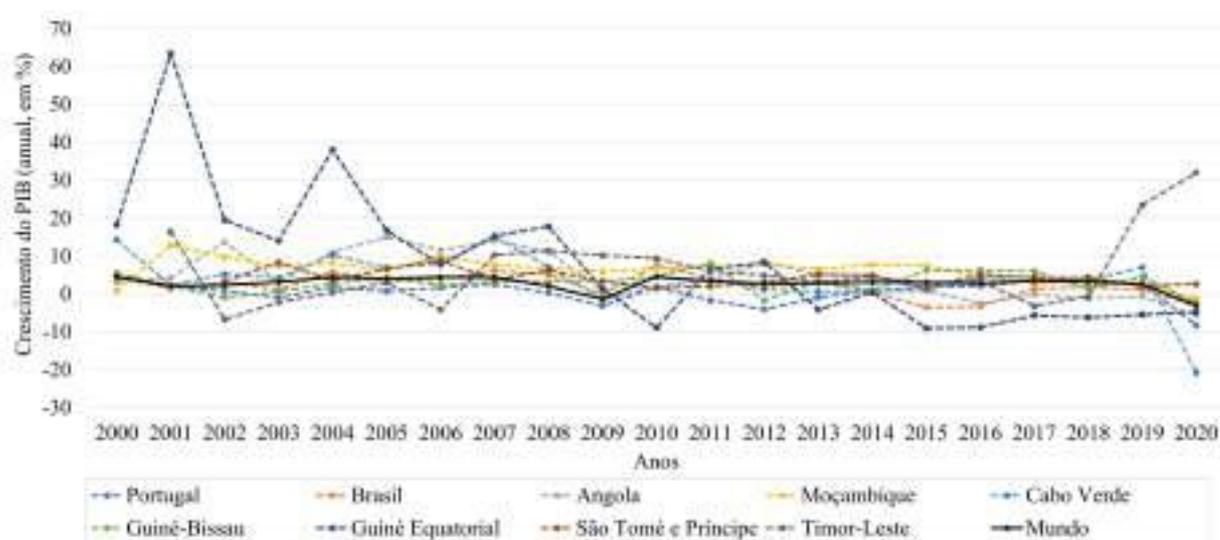
Tabela 1 – PIB (em US\$) para os países da CPLP, em 2020.

	País	Valor
1	Brasil	1,45 trilhões
2	Portugal	229,03 bilhões
3	Angola	53,62 bilhões
4	Moçambique	14,03 bilhões
5	Guiné Equatorial	10,10 bilhões
6	Timor-Leste	2,16 bilhões
7	Cabo Verde	1,70 bilhões
8	Guiné-Bissau	1,43 bilhões
9	São Tomé e Príncipe	0,47 bilhões

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados do (Bank, 2023e).

exploração de recursos energéticos marítimos e receitas advindas dos recursos petrolíferos (Eurosistema, 2019). Cabo Verde apresenta uma variação negativa entre os anos de 2019 e 2020, principalmente devido aos efeitos da Pandemia de Covid-19 (Bank; Oecd; Undp, 2023). De modo geral, os demais países mantiveram uma variação menos volátil, com destaque para o Brasil que, entre os anos de 2013 e 2015, registrava um crescimento do PIB acima da média mundial, porém após um período de instabilidade política, o país passou por uma recessão econômica (Cia, 2023). Portugal também não registrou ao longo dos últimos 20 anos um crescimento do PIB significativo, mantendo um crescimento estável (Pereira, 2014).

Figura 5 – Variação do PIB nos nove países da CPLP ao longo de 20 anos.

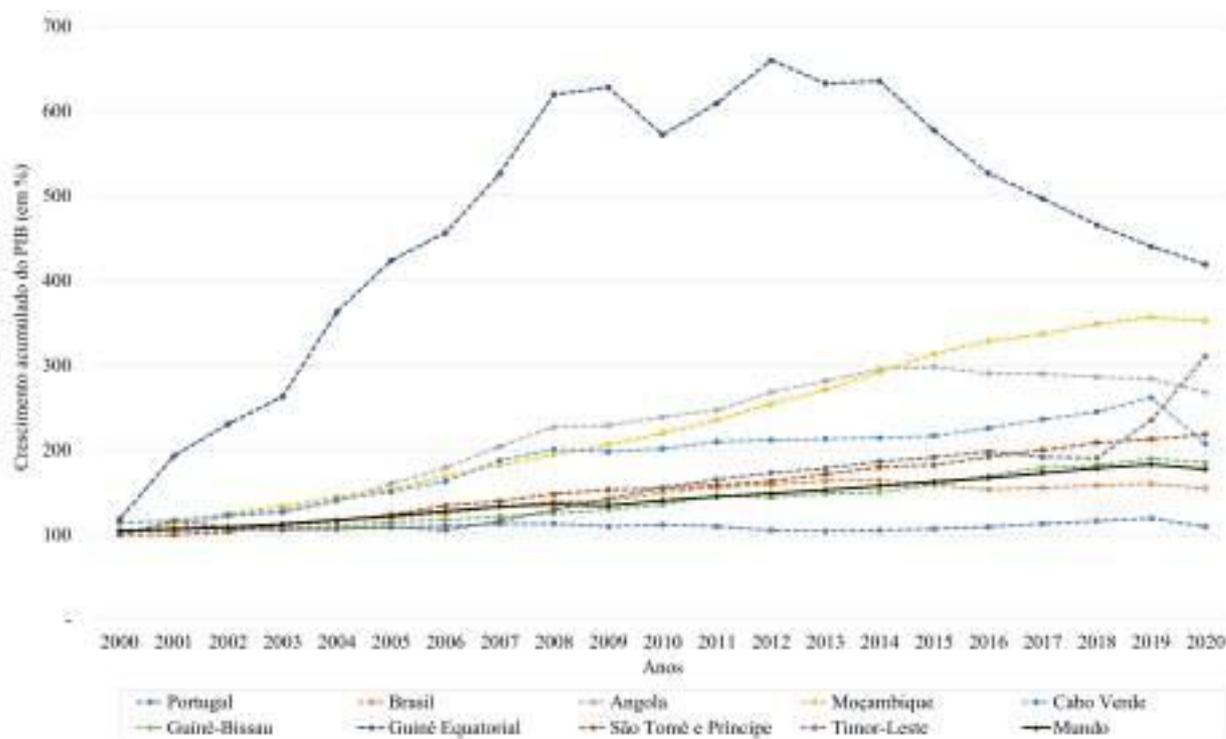


Fonte: Autora, com os dados extraídos do (Bank, 2023e).

Com relação ao desempenho do PIB dos países pertencentes à CPLP, tem-se o

gráfico da Figura 6. O gráfico corrobora com relação ao comportamento do desempenho econômico da Guiné Equatorial, explicitando o crescimento expressivo da economia do país durante o período "*Oil Boom*" (Paiva *et al.*, 2023). Moçambique também apresenta um bom desempenho acumulado do PIB, justificado pela descoberta de extensas reservas de gás natural no país (Bank, 2023e). Por outro lado, como já dito anteriormente, Brasil e Portugal apresentam um desempenho abaixo da média mundial, com relação aos últimos anos analisados, porém com crescimento estável. Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, múltiplos aspectos econômicos dos países da CPLP serão abordados.

Figura 6 – Variação acumulada do PIB nos nove países da CPLP ao longo de 20 anos.



Fonte: Autora, com os dados extraídos do (Bank, 2023e).

De maneira geral, a economia brasileira apresentou recuo de 4,1% em 2020 em relação ao ano de 2021, porém, ainda assim é o país com o maior PIB dentre os países da CPLP estudados. Tal recuo se deve principalmente aos efeitos causados pela pandemia, apresentando uma melhora, no segundo trimestre de 2020, pela recuperação da indústria e comércio. O setor de serviços foi o principal pelo lado da oferta na recuperação da atividade, juntamente com o crescimento do emprego formal e do crédito, aliada ao aumento do investimento, segundo (Economia, 2021).

Com relação à economia portuguesa, durante o ano de 2020, também houve uma queda, devido aos efeitos da pandemia. A base da economia de Portugal é formada pela agricultura, silvicultura, a pecuária e pesca (setor primário); indústria transformadora e

construção civil (setor secundário) e turismo (setor terciário). O setor do turismo, em especial, registrou uma queda histórica devido as restrições de mobilidade impostas pela pandemia, segundo (Portugal no Brasil, 2023).

Os aspectos econômicos relacionados à Angola tem uma particularidade quando comparado aos demais países da CPLP do continente africano, ligadas à procura global de petróleo, o que trouxe um crescimento volátil e deixou o país com elevados níveis de pobreza e desigualdade, segundo (Bank, 2023e). Portanto, apesar de ter uma economia muito marcada pelo poder relacionado ao Petróleo, devido as necessidades atuais de descarbonização global, Angola necessita investir, cada vez mais, para a remoção de barreiras ao investimento do setor privado, visando alcançar a diversificação econômica de modo a apoiar o crescimento, a criação de emprego, e a redução da pobreza existente no país.

Os demais países da CPLP estudados: Moçambique, Guiné Equatorial, Timor-Leste, Cabo Verde, Guiné-Bissau e São Tomé e Príncipe apresentaram os menores valores de PIB. Destes, vale destacar que Guiné Equatorial registou uma queda significativa no valor do PIB, entre os anos de 2012 e 2016, sendo um país com extrema desigualdade social, com um governo fechado e ditatorial, considerado um dos mais corruptos do mundo. Segundo o índice de Transparência Internacional, o país ocupa a 172^a posição, entre 180 países avaliados, e pontuação de 17, numa escala de 0 a 100 (Internacional, 2022). Apesar de desde o fim do século XX, com a exportação de petróleo, representando durante um período uma economia em ascensão, a economia da Guiné-Equatorial ainda é marcada na pesca e na agricultura, com produtos como o algodão, café, cana de açúcar e várias frutas. Também se destacam as atividades com gado, exportação de madeira e minerais.

Timor-Leste também pode ser destacado como um país com enorme instabilidade política, apresentando um longo e complexo processo social, desde sua independência de Portugal e após a invasão da Indonésia. É um dos países com independência mais jovens do mundo, com a economia assentada na produção de cacau, café, cravo e coco. Nos últimos anos foram encontrados importantes reservas de petróleo e gás natural, em seu território (Unilab, 2023).

Adicionalmente, Moçambique apresenta um valor de PIB mais elevado quando comparado aos países Guiné Equatorial, Timor-Leste, Cabo Verde, Guiné-Bissau e São Tomé e Príncipe. O principal setor econômico de Moçambique é o primário, com destaque para produção de grãos e a criação de animais. A atividade pesqueira também tem crescido no país. A industrialização é pouco desenvolvida e, embora apresente um PIB superior a alguns dos países da CPLP ainda é considerado uma nação pobre, apesar de possuir grandes reservas de recursos naturais, como petróleo, ferro, bauxita, cobre, mármore e pedras preciosas. As perspectivas econômicas a médio-prazo são positivas para Moçambique, prevendo que o crescimento acelere para 6% entre 2023 e 2025, impulsionado

pela recuperação contínua dos serviços, pelo aumento da produção de Gás Natural e pelos elevados preços das matérias-primas. Porém, ainda há riscos de retrocesso, devido a recuperação global incerta, guerra na Ucrânia, os baixos níveis de capital humano e a vulnerabilidade do país a desastres climáticos, segundo o (Bank, 2023e).

Cabo Verde, Guiné-Bissau e São Tomé e Príncipe, são os países do continente africano e da CPLP, que apresentam os mais baixos valores de PIB. Cabo Verde, apresenta uma economia em desenvolvimento, com baixíssima industrialização e pobre em recursos naturais. O país produz muitos bens primários, com destaque para os peixes e os frutos do mar, porém o principal setor da economia é o terciário, de comércio e serviços, com forte participação das remessas de moeda estrangeira feitas por expatriados e do crescimento da atividade turística nacional. Segundo a ONU (Onu, 2022a), a economia no país apresenta sinais de otimismo na transformação econômica, isso se deve, principalmente, à dinâmica com a retomada de visitas de turistas às ilhas e entrada de fundos recebidos de cabo-verdianos no exterior.

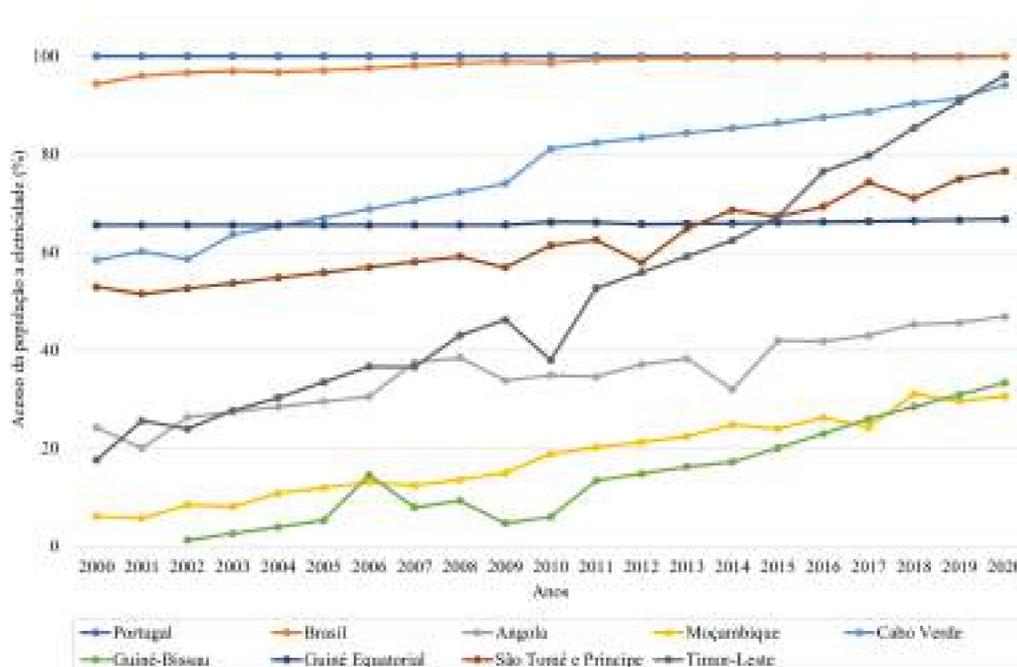
Guiné-Bissau, por sua vez, é um dos países mais pobres e frágeis do mundo. É caracterizada por instabilidade política, fragilidade institucional, baixos níveis de desenvolvimento humano e elevados níveis de pobreza (Bank, 2023d). A economia de Guiné-Bissau, depende fortemente da agricultura e da pesca, sendo cerca de 62% do PIB. O país exporta peixe e mariscos juntamente com amendoim, semente de palma e produtos das atividades extrativas florestais e ocupa o sexto lugar na produção mundial de castanhas e caju. O arroz é uma comida típica e o cereal mais produzido. O turismo é, também, uma aposta crescente do país, segundo (Unilab, 2023).

Por fim, São Tomé e Príncipe é, dentre os países que compõem a CPLP, o que possui o menor PIB, isso porque o país possui uma base produtiva pequena e não diversificada. Por se tratar de um arquipélago, geograficamente é um país afastado, e devido a insularidade seus custos comerciais são mais elevados, o que o torna vulnerável aos termos de troca comercial e mais susceptível aos efeitos adversos das mudanças climáticas. O país apresenta uma vulnerabilidade socioeconômica significativa devido à elevada pobreza, desigualdade de rendimentos e a falta de oportunidades de emprego (Bank, 2023e). Por outro lado, possui uma significativa riqueza natural inexplorada, incluindo florestas tropicais com uma biodiversidade rica e única, o que é favorável ao turismo baseado na natureza. Nos dias atuais, a principal atividade econômica do país é agricultura e pesca, e além disso, as descobertas de petróleo nas suas águas pode constituir uma importante fonte de receitas e de energia no futuro, apesar da busca atual pela descarbonização (Unilab, 2023).

Com relação ao acesso da população dos países da CPLP a eletricidade, ou seja, a porcentagem da população que possui acesso à energia elétrica, os países mais avançados são Portugal e Brasil (ambos com 100% de acesso da população a eletricidade). Seguidos por Timor-Leste (96,12%), Cabo Verde (94,16%), São Tomé e Príncipe (76,56%), Guiné

Equatorial (66,75%) e Angola (46,89%). Já Guiné-Bissau (33,33%) e Moçambique (30,60%) são os países que apresentam as porcentagens mais baixas de acesso a eletricidade. Tais dados podem ser observados na Figura 7 e foram extraídos da base de dados do Banco Mundial (Bank, 2023e). Alguns fatores influenciam no acesso a energia elétrica nos países, tais como a infraestrutura disponibilizada para o acesso à energia; os investimentos destinados ao setor de energia; a presença de políticas governamentais que priorizem o setor energético, implementando regulamentações adequadas, incentivos e subsídios; a disponibilidade de recursos naturais; o desenvolvimento econômico e socioambientais; e a localização geográfica. É importante ressaltar que esses fatores interagem de maneiras complexas e variam de acordo com cada contexto. As soluções para melhorar o acesso à energia elétrica geralmente exigem abordagens abrangentes, envolvendo parcerias entre governos, setor privado e organizações internacionais.

Figura 7 – Variação do acesso a eletricidade (população), em porcentagem, nos nove países da CPLP ao longo de 20 anos.



Fonte: Autora, com os dados extraídos do (Bank, 2023e).

Apesar do Banco Mundial, considerar que no Brasil 100% da população possui acesso a eletricidade (Bank, 2023e), é notório que na realidade o país ainda enfrenta dificuldades no acesso a energia para todos seus habitantes, principalmente as comunidades periféricas, isoladas, ribeirinhas e também as áreas rurais. Apesar do país estar praticamente atingindo a universalização no acesso a energia, ainda existem cerca de 600 mil brasileiros, que não têm acesso à energia elétrica. A distribuição de energia elétrica se correlaciona às desigualdades sociais e espaciais nas regiões brasileiras. Portanto, através da pesquisa realizada observou-se que as regiões Norte e Nordeste apresentam menor renda per capita,

menor consumo de energia elétrica e menor acesso à energia elétrica do que as demais regiões, segundo (Thives; Ghisi; Júnior, 2022). Um exemplo do desafio que o país enfrenta para universalizar o acesso a este serviço básico e essencial para a sociedade, é o caso do estado do Amazonas, que possui diversas comunidades isoladas e, além disso, o acesso a região é complexo devido a presença da Floresta Amazônica. Outro ponto desafiador, é relacionado aos furtos de energia que o estado é recordista, ou seja, de acordo com os dados da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (Abradee), o Amazonas é o estado que mais sofre com os crimes praticados sistematicamente, os desvios na rede elétrica chegam a quase 120%, sendo a quantidade de furtos maior do que o faturamento com as ligações regulares. Portanto, melhorar a qualidade de vida, a oferta de empregos e o acesso à educação são desafios a serem enfrentados, mas a política energética do Brasil ainda não os contempla adequadamente estes aspectos.

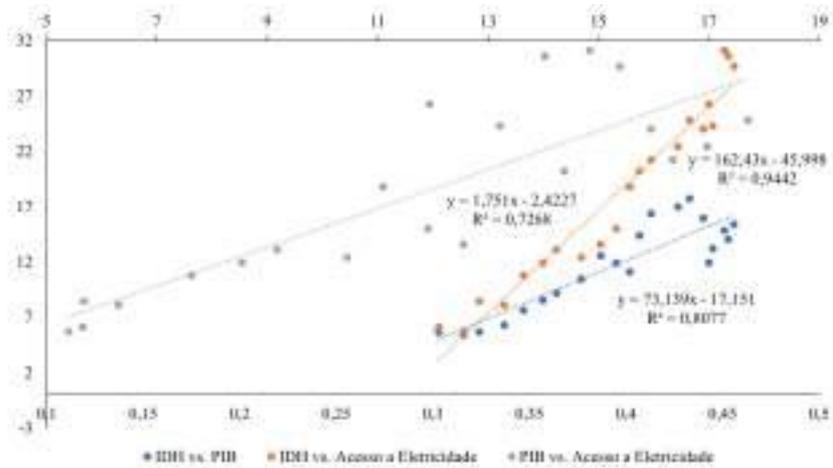
Como esperado, Guiné-Bissau e Moçambique possuem a porcentagem mais baixa dentre os países da CPLP no acesso a população a energia, isto tem coerência com os gráficos apresentados nas Figuras 4 e 5, uma vez que os países também apresentam os menores índices de IDH e de PIB dentre os países estudados, reforçando a correlação entre estas variáveis. Vale notar que estes países estão localizados no continente africano, reforçando a importância do desenvolvimento do acesso a energia elétrica para o desenvolvimento econômico e socioambiental. Os gráficos da Figura 8 mostram essa alta correlação positiva entre as variáveis IDH *versus* PIB, IDH *versus* acesso à eletricidade e PIB *versus* acesso à eletricidade para os países selecionados, Guiné-Bissau e Moçambique, como exemplo. A Tabela 2 apresenta os coeficientes que expressam essa correlação. Nos próximos capítulos será apresentado o conceito de correlação de *Pearson* (r) e as demais análises dos resultados obtidos.

Tabela 2 – Coeficientes de correlação de *Pearson* (r) para os países da CPLP, Moçambique e Guiné-Bissau.

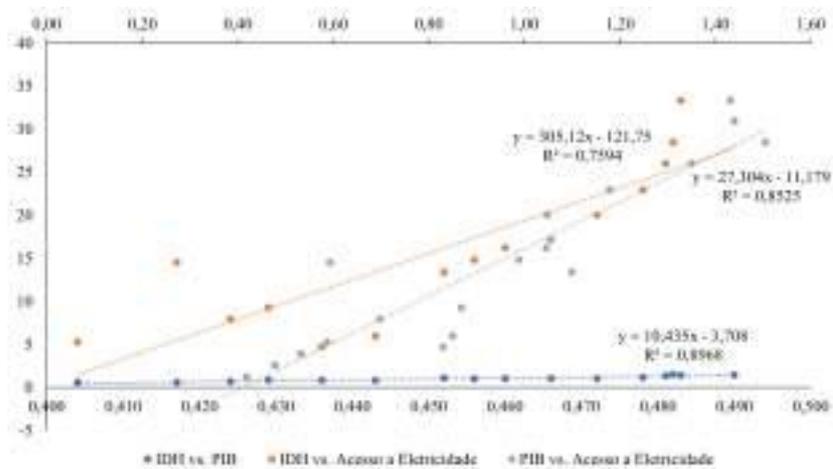
Moçambique		
Correlação	r	Interpretação
IDH vs. PIB	0,8987	alta correlação positiva
IDH vs. acesso à eletricidade	0,9717	alta correlação positiva
PIB vs. acesso à eletricidade	0,8525	alta correlação positiva
Guiné-Bissau		
Correlação	r	Interpretação
IDH vs. PIB	0,9469	alta correlação positiva
IDH vs. acesso à eletricidade	0,8714	alta correlação positiva
PIB vs. acesso à eletricidade	0,9233	alta correlação positiva

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 8 – Correlação entre as variáveis de IDH, PIB e acesso à eletricidade ao longo de 20 anos.



(a) Moçambique.



(b) Guiné-Bissau.

Fonte: Autora, com os dados extraídos do (Undp, 2023; Bank, 2023e; Ritchie; Roser; Rosado, 2022).

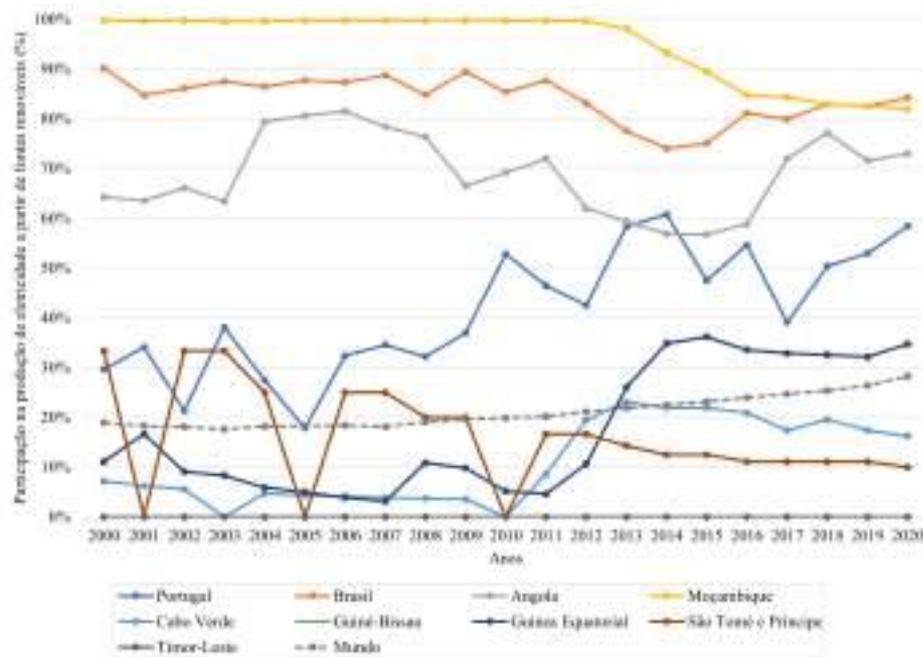
Portanto, mesmo com o crescente investimento dos países em fontes de energias renováveis atualmente, devido a necessidade de descarbonização e as metas provenientes do Acordo de Paris (Ibgc, 2022), ainda existem alguns países que enfrentam desafios básicos, como o acesso da sua população à eletricidade. Neste contexto, se torna essencial o estudo de como viabilizar estas fontes de energia para países com perspectivas econômicas e aspectos socioambientais distintos.

Neste contexto, a Figura 9 apresenta a relação entre os países da CPLP, com relação a participação na produção de eletricidade, a partir de fontes renováveis. Os países que lideram são Brasil (84,64%), Moçambique (82,01%), Angola (73,67%) e Portugal (58,42%), em ordem decrescente. Guiné Equatorial (34,75%) está abaixo dos países citados anteriormente, mas ainda acima da curva que representa os dados consolidados da

perspectiva mundial com relação a utilização de fontes renováveis. Entretanto, os países Cabo Verde (16,28%), São Tomé e Príncipe (10,0%), Guiné-Bissau (0%) e Timor-Leste (0%), ainda estão consideravelmente abaixo desta curva, demonstrando a necessidade de investimento em fontes renováveis de energia nestes países.

Portanto, para os países Guiné-Bissau e Timor-Leste, os quais possuem praticamente 100% do uso de eletricidade proveniente de fontes não renováveis, se torna ainda mais crítico e necessário o investimento no desenvolvimento de tecnologias verdes para a geração de energia elétrica e, no contexto de transição energética e descarbonização, é necessário a diminuição do uso de combustíveis fósseis na matriz elétrica. Apesar do ambiente político e econômico instável que assola Guiné-Bissau, ao longo dos últimos anos a pauta do acesso à energia e segurança energética, têm ganhado notoriedade, fazendo com que o país pretenda adotar uma estratégia mais clara, com uma visão dinâmica e transformadora para o setor, de forma que consiga solucionar problemas estruturantes, assegurar o bem estar da população e o desenvolvimento sustentável do país (Energy, 2010). Não diferente deste cenário, Timor-Leste também tem como objetivo acabar com a dependência externa que o país tem de fornecimento de energia, neste sentido pretende implementar um plano global, concertado e faseado, que contribuirá para o desenvolvimento nacional de fontes de energia alternativa e renovável, com forte impacto na melhoria da qualidade de vida das pessoas e na promoção do investimento e crescimento industrial, potenciais fontes de criação de emprego e de receitas do Estado (Timor-leste, 2010).

Figura 9 – Variação da participação na produção de eletricidade a partir de fontes renováveis, em porcentagem, nos nove países da CPLP ao longo de 20 anos.



Fonte: Autora, com os dados extraídos do (Ritchie; Roser; Rosado, 2022).

Conforme mostrado na Figura 9 o mundo ainda enfrenta alguns desafios relacionados a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis, observando a curva relacionada a performance, nota-se que no ano de 2020 cerca de 28,24% da produção de eletricidade foi a partir de fontes renováveis de energia no mundo, porém esta é a maior porcentagem desde os últimos anos, além de apresentar uma tendência de crescimento.

Neste contexto, a CPLP enfrentará muitos desafios ao longo dos próximos anos, principalmente relacionado as condições que promovam a cooperação econômica e empresarial entre os países, além do desenvolvimento e promoção de uma transição energética justa e sustentável. Com nações tão distintas, desde o processo de constituição política quanto a posição geográfica, população, cultura, aspectos sociais, econômicos, dentre outros, o desafio se torna cada vez mais complexo, o que confere ainda mais força e propósito para a existência de uma cooperação mútua entre estes países, entendendo o papel e responsabilidade de cada um. Ao longo das próximas subseções, deste capítulo, tem-se um breve detalhamento sobre cada um dos países que compõem a CPLP e a apresentação dos indicadores humano, sociais e eletroenergéticos utilizados como base de estudo para a pesquisa realizada.

2.1.1 Angola

Angola, oficialmente República de Angola, é um país da costa ocidental da África, em uma superfície de 1.246.700 km^2 , cujo território principal é limitado a norte e a nordeste pela República Democrática do Congo, a leste pela Zâmbia, a sul pela Namíbia e a oeste pelo Oceano Atlântico. Inclui também o exclave de Cabinda, através do qual faz fronteira com a República do Congo, a norte. Para além dos vizinhos já mencionados, Angola é o país mais próximo da colônia britânica de Santa Helena (Cia, 2023). Possui 18 províncias e sua capital é Luanda. A Figura 10 mostra a localização geográfica de Angola.

Figura 10 – Mapa com a localização geográfica de Angola.



Fonte: (Cia, 2023).

Do final do século XIV a meados do século XIX, o Reino do Congo se estendeu pela África Central, desde o atual norte de Angola até as atuais repúblicas do Congo. Negociou pesadamente com os portugueses que, a partir do século XVI, estabeleceram colônias costeiras e entrepostos comerciais e introduziram o cristianismo. Angola tornou-se um importante centro do comércio transatlântico de escravos conduzido pelos portugueses e outras potências europeias - muitas vezes em colaboração com reinos locais, incluindo o Congo. As estimativas são de que a área de Angola possa ter perdido até 4 milhões de pessoas como resultado do comércio de escravos. Durante a Conferência de Berlim de 1884-85, as fronteiras modernas de Angola foram definidas por Portugal e outras potências europeias, mas os portugueses não controlavam totalmente grandes porções do território. Portugal ganhou o controle do Reino do Congo em 1888. Após uma revolta em 1914, Portugal impôs o domínio direto sobre a colônia e aboliu o Reino do Congo (Cia, 2023).

A Revolução Nacional Angolana começou em 1961 e em 1975, Angola conquistou a sua independência quando a ditadura de Portugal se encerrou, em parte devido ao crescente descontentamento com o conflito em Angola e outras colônias. O conflito entre os múltiplos movimentos de independência de Angola emergiu rapidamente com o Movimento Popular de Libertação de Angola (MPLA) e a União Nacional para a Independência Total de Angola (UNITA). Com o tempo, a guerra civil angolana intensificou-se e tornou-se um grande conflito da Guerra Fria com o MPLA apoiado pela União Soviética e Cuba e a UNITA pelo *apartheid* da África do Sul e pelos EUA. Até 1,5 milhões de vidas podem ter sido perdidas – e 4 milhões de pessoas deslocadas – durante mais de um quarto de século de combates. A morte do líder, Jonas Savimbi, em 2002 pôs fim à insurreição da UNITA e cimentou a permanência do MPLA no poder. João Lourenço se tornou presidente em 2017 e foi reeleito em 2022, sendo o atual presidente do país. Angola tem uma pontuação baixa nos índices de desenvolvimento humano, apesar de utilizar as suas grandes reservas de petróleo para reconstruir desde o fim de uma guerra civil de 27 anos em 2002 (Cia, 2023).

Com relação aos aspectos econômicos, Angola têm estado ligada à procura global de petróleo, o que trouxe um crescimento volátil e deixou o país com elevados níveis de pobreza e desigualdade. As reformas realizadas ao longo dos últimos cinco anos melhoraram a gestão macroeconômica e a governabilidade do setor público. A estabilidade macroeconômica ainda foi reforçada através de um regime cambial mais flexível, autonomia do banco central, política monetária sólida e consolidação fiscal. Foram introduzidas leis para permitir uma maior participação do setor privado na economia, aumentando a estabilidade do setor financeiro e reduzindo o impacto da volatilidade das receitas petrolíferas nas finanças públicas (Bank, 2023a).

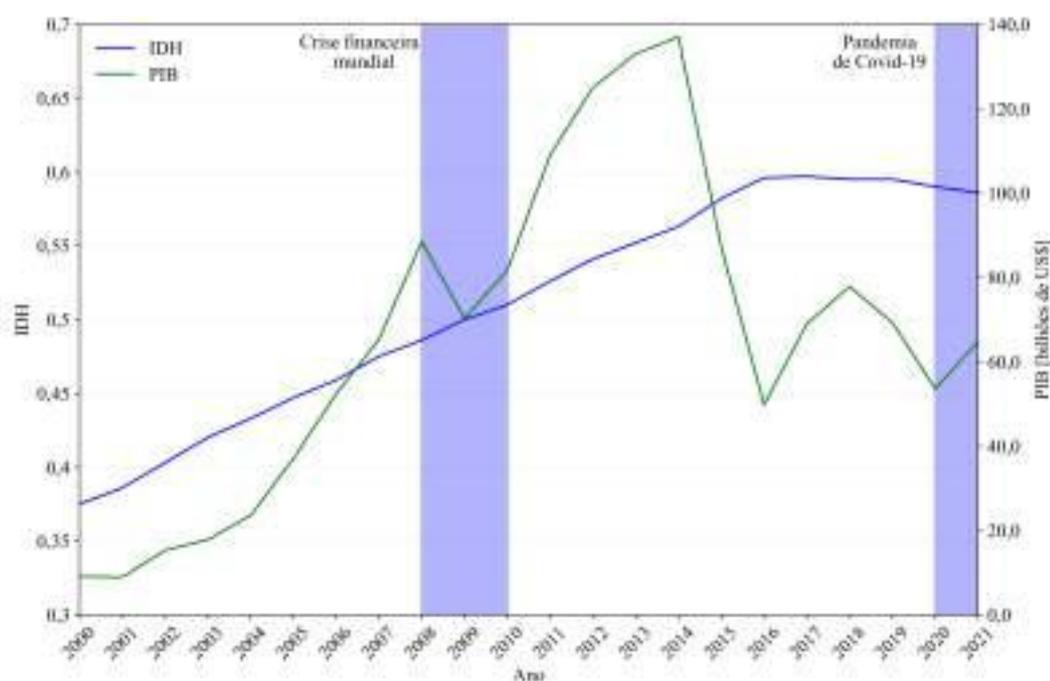
A economia de Angola é fortemente impulsionada pelo setor petrolífero. A produção de petróleo e suas atividades de apoio contribuem com cerca de 50% do PIB, mais de 70% das receitas do governo e mais de 90% das exportações do país. Angola é membro da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Os diamantes contribuem

com 5% adicionais para as exportações. A agricultura de subsistência fornece o principal meio de vida para a população, mas metade dos alimentos do país ainda são importados. Portanto, a diversificação econômica constitui um dos desafios ao país, principalmente enquanto a produção de petróleo está em declínio e a descarbonização global se aproxima, de acordo com (Bank, 2023a).

A partir de 2008, a recessão global paralisou o crescimento econômico de Angola. Os preços mais baixos do petróleo resultaram na queda do PIB de 0,7% em 2016. Angola abandonou formalmente a sua paridade cambial em 2009, mas a reinstalou em 2016 e mantém uma taxa de câmbio sobrevalorizada. No final de 2016, Angola perdeu a última das suas relações de correspondente com bancos estrangeiros, agravando ainda mais os problemas de moeda forte. A inflação ao consumidor diminuiu de 325% em 2000 para menos de 9% em 2014, antes de subir novamente para acima de 30% em 2015-2017 (Bank, 2023a). Além disso, depois de um crescimento econômico considerável, entre 2002 e 2015, possibilitado pelas grandes receitas do petróleo, que permitiram receitas fiscais de US\$ 320 milhões, Angola passou por um período de desaceleração econômica principalmente entre 2015-2017, devido a queda do preço dos barris de petróleo. Por outro lado, o desenvolvimento humano e social não conseguiu acompanhar o desempenho do PIB do país, segundo o relatório social do Centro de Estudos e Investigação Científica (CEIC), da Universidade Católica de Angola, relata que não houve uma distribuição equitativa da riqueza social no país (Welle, 2016).

A Figura 11 apresenta a projeção do PIB (US\$ Atual) e do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) em Angola. Observa-se que Angola teve um crescimento expressivo até o ano de 2015, passando pela crise financeira mundial de 2008, alcançando altos patamares no ano de 2014, devido aos altos preços de exportação do petróleo. Posteriormente, a economia entrou em uma tendência de decaimento, também agravada pela pandemia de COVID-19. Ao mesmo tempo, nota-se uma tendência de crescimento do IDH do país, porém ainda muito abaixo da projeção do PIB, ressaltando as enormes dificuldades sociais enfrentadas pelo país.

Figura 11 – Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em Angola.



Fonte: Elaborado pelo autor com os dados extraídos do (Bank, 2023e).

A continuação dos baixos preços do petróleo e o crescimento mais lento do que o esperado do PIB não petrolífero reduziram as perspectivas de crescimento. A corrupção, especialmente nos setores extrativos, é um grande desafio de longo prazo que representa uma ameaça adicional para a economia. Devido à diminuição da produção petrolífera e ao reduzido impulso fiscal, espera-se que o crescimento seja moderado para 2,6% em 2023, caindo novamente abaixo do crescimento populacional (3,1%). Espera-se que o crescimento da economia não-petrolífera, especialmente na agricultura, construção e serviços se mantenha robusto, com um crescimento anual do PIB não-petrolífero superior a 4%. Enquanto a taxa de pobreza deverá continuar a diminuir marginalmente, devido ao rápido crescimento da população, o número de pobres ultrapassará os 11,7 milhões. O alto índice de pobreza está ligado à falta de empregos de boa qualidade: 80% dos empregos são informais e metade são no setor primário (muitas vezes trabalho de subsistência). O desemprego urbano e juvenil permanece elevado, excedendo 38% e 50%, respectivamente.

Por fim, a Tabela 3 mostra os indicadores utilizados em valores quantitativos para Angola, que serão utilizados para o cálculo e proposição do novo índice para a análise dos países selecionados. Nas próximas seções serão detalhados tais indicadores selecionados e como estes se comportam e se relacionam ao longo dos últimos anos.

Portanto, um dos aspectos mais delicados relacionado ao país é o social, Angola ainda passa por uma grave crise relacionada ao desenvolvimento humano e social, com

Tabela 3 – Valores dos indicadores para o país Angola.

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	0,590
Acesso à eletricidade	46,89%
Geração de Energia	16,60 <i>TWh</i>
Produção de eletricidade a partir de Energias Renováveis	72,94%
Capacidade de Geração Instalada	7.344 <i>MW</i>

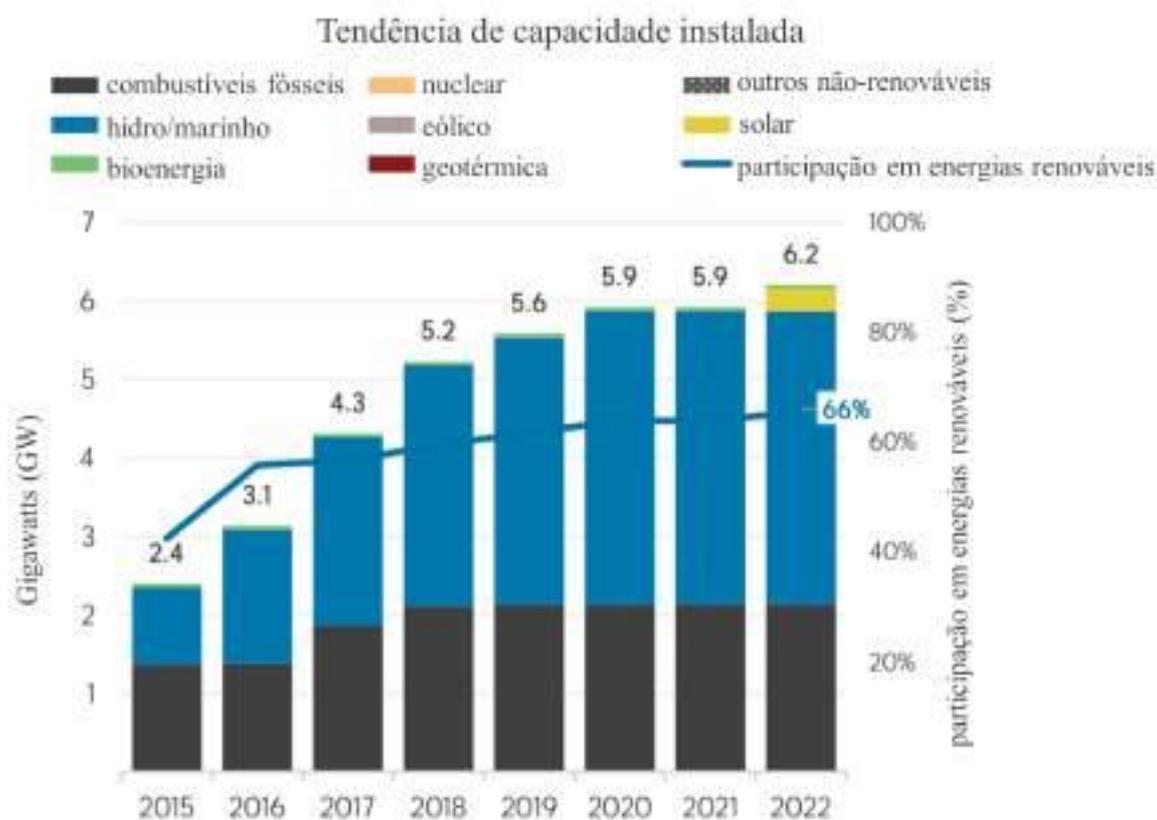
Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados de (Undp, 2023; Cia, 2023; Ritchie; Roser; Rosado, 2022), relativos ao ano de 2020.

um IDH considerado médio. Atualmente, Angola enfrenta um alto índice de desemprego, aumento de preços dos produtos alimentares básicos e crescente inflação, criando uma tensão social no país. Além disso, aspectos políticos também agravam esta situação, principalmente relacionado a falta de transparência no governo, atrasos de pagamentos públicos dos servidores e a impopularidade do regime atual.

Com relação aos aspectos eletroenergéticos, Angola enfrenta alguns desafios relacionados a energia, segundo o Relatório do Progresso Energético de 2023, confeccionado pela ONU, o país possui cerca de 18 milhões de pessoas sem acesso a eletricidade e integra a lista dos 20 países com maior deficit de acesso à energia no mundo (Onu, 2023). Porém, o estímulo ao uso de energias renováveis pode ser uma forma de superar a crise energética. Neste contexto, Angola vem se esforçando no sentido de diversificar a sua economia, reduzindo a sua dependência do petróleo, integrando novas tecnologias e novas fontes de energia. Para esse efeito, é importante que os novos paradigmas que comandam essa evolução sejam devidamente absorvidos pelo país. É indispensável atenuar de maneira significativa o atraso existente, aproveitando algumas das vantagens que o mesmo proporciona e fazer em tempo reduzido o que outros países levaram muitos anos a implementar (Angola, 2016).

Angola apresenta uma tendência de capacidade instalada de eletricidade voltada para uma grande participação em energias renováveis, principalmente devido ao aumento do uso da energia hidráulica e solar no país (Irena, 2023a), conforme pode-se notar na Figura 12. Além disso, apesar de ainda ser uma realidade no país o uso de energia através de combustíveis fósseis, quando se analisa apenas os dados de geração de eletricidade, nota-se uma porcentagem relevante de 74% de geração de eletricidade através de fontes renováveis no ano de 2021, conforme mostrado na Tabela 4.

Figura 12 – Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Angola.



Fonte: (Irena, 2023a).

Tabela 4 – Perfil da geração de eletricidade em Angola.

Geração de Eletricidade em 2021	Angola	
	GWh	%
Não-renováveis	4.996	26
Renováveis	14.004	74
Hidro e Marinha	13.802	73
Solar	2	0
Eólica	0	0
Bioenergia	200	1
Geotérmica	0	0
Total	19.000	100

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados do *website* da (Irena, 2023a), para o ano de 2021.

Portanto, tais dados evidenciam essa necessidade de incentivos e investimentos em fontes de energia limpas e renováveis para a necessidade de suprir as demandas de geração de energia e ao mesmo tempo contribuir para os objetivos globais de descarbonização. Apesar de todos os desafios energéticos do país, Angola tem conseguido alcançar uma

matriz elétrica predominantemente renovável, porém não conseguindo alcançar de forma satisfatória toda a população do país, uma vez que apenas 46,89% das pessoas possuem acesso à eletricidade. Portanto, o aspecto social (acesso à energia elétrica) é um dos principais problemas energéticos do país, o que agrava a pobreza, aumenta a desigualdade social e dificulta a prestação de serviços básicos.

2.1.2 Brasil

Brasil, oficialmente República Federativa do Brasil é o maior país da América do Sul e da região da América Latina, conforme mostrado na Figura 13 sendo o quinto maior do mundo em área territorial (equivalente a 47,3% do território sul-americano) e sexto em população (com cerca de 207.750.291 habitantes). É o único país na América onde se fala majoritariamente a língua portuguesa e o maior país lusófono do planeta, além de ser uma das nações mais multiculturais e etnicamente diversas, em decorrência da forte imigração oriunda de variados locais do mundo. Sua atual Constituição, promulgada em 1988, concebe o Brasil como uma república federativa presidencialista, formada pela união dos 26 estados, do Distrito Federal e dos 5.570 municípios (Cia, 2023; Brasil, 1998).

Figura 13 – Mapa com a localização geográfica do Brasil.



Fonte: (Cia, 2023).

Após mais de três séculos sob domínio português, o Brasil conquistou sua independência em 1822, mantendo um sistema monárquico de governo até a abolição da escravidão em 1888 e a subsequente proclamação de uma república pelos militares em 1889. Os exportadores de café brasileiros dominaram politicamente o país até o líder populista Getúlio Vargas chegar ao poder em 1930. O Brasil passou por mais de meio século de governo populista e militar até 1985, quando o regime militar cedeu o poder pacificamente aos governantes civis. De longe o maior e mais populoso país da América do Sul, o Brasil continua a buscar o crescimento industrial e agrícola e o desenvolvimento de seu interior. Tendo superado com sucesso um período de dificuldade financeira global no final do século

20, sob o presidente Luiz Inácio Lula da Silva (2003-2010), o Brasil era visto como um dos mercados emergentes mais fortes do mundo e um contribuinte para o crescimento global. A premiação da Copa do Mundo FIFA 2014 e dos Jogos Olímpicos de 2016, os primeiros a serem realizados na América do Sul, foi vista como um símbolo da ascensão do país. No entanto, por volta de 2013 a 2016, o Brasil foi atormentado por uma economia em declínio, alto desemprego e inflação, apenas emergindo da recessão em 2017. A ex-presidente Dilma Rousseff (2011-2016) foi destituída do cargo em 2016 pelo Congresso por ter cometido atos de *impeachment* contra as leis orçamentárias do Brasil, e seu vice-presidente, Michel Temer, cumpriu o restante de seu segundo mandato. Uma investigação de lavagem de dinheiro, denominada Operação Lava Jato, descobriu um vasto esquema de corrupção no país, com acusação de vários políticos brasileiros. O ex-presidente Lula foi condenado por aceitar suborno e cumpriu pena de prisão (2018-19), embora sua condenação tenha sido anulada no início de 2021. O renascimento de Lula se completou em outubro de 2022, quando ele derrotou por pouco o titular Jair Bolsonaro (2019-2022) nas eleições presidenciais (Cia, 2023). Em 2023, o Tribunal Regional Federal da 1ª Região (TRF-1) inocentou a ex-presidente Dilma Rousseff na ação de improbidade administrativa.

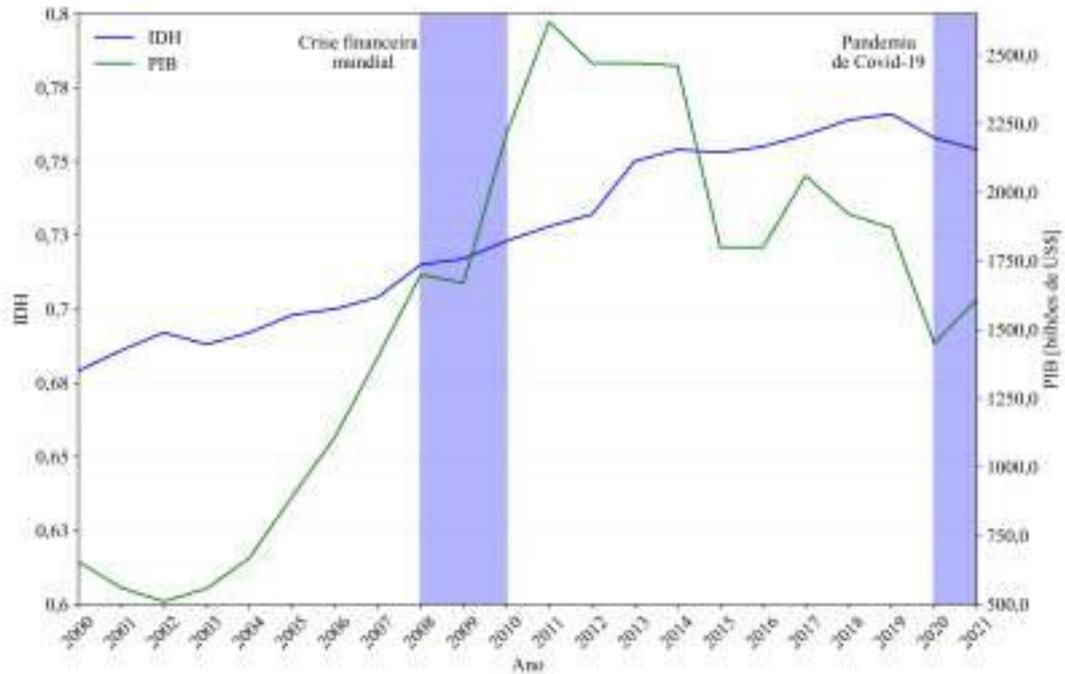
Sendo uma das 10 maiores economias do mundo em 2022, segundo o Fundo Monetário Internacional (FMI) o Brasil segue o mesmo padrão das economias globais para 2023 — uma forte queda no crescimento depois de dois anos seguidos de altos índices. Porém, o crescimento de 2021 e 2022 — que no Brasil foi de 5% e 3,1% respectivamente — ainda era uma recuperação da economia depois da queda de 2020, ano em que estourou a pandemia de coronavírus. A economia também foi afetada negativamente por vários escândalos de corrupção no país. Para 2023, a previsão é que a economia brasileira crescerá 1,2% — índice inferior ao de EUA (1,4%), Canadá (1,5%), México (1,7%), China (5,2%) e Índia (6,1%), mas superior a Reino Unido (contração de 0,6%), Rússia (crescimento de 0,3%) e países da Zona do Euro (0,7%) (Fmi, 2022).

A Figura 14 apresenta a projeção do PIB (US\$ Atual) e do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) no Brasil. O Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil registrou um notável crescimento entre 2000 e 2008, seguido por um período de recessão devido à crise financeira global. Apesar da estabilidade econômica prévia à crise de 2008, o governo adotou medidas para conter os impactos, como a redução da taxa SELIC e do IPI para eletrodomésticos e automóveis. Contudo, o país foi afetado pela crise, refletida na contração do PIB em 2009, aumento do dólar, inflação e restrição de crédito. Embora tenha havido recuperação do PIB entre 2013 e 2015, o Brasil enfrentou declínio econômico, alto desemprego e inflação até sair da recessão em 2017. Posteriormente, em 2020, a pandemia do COVID-19 provocou uma nova queda econômica, mas com expectativas de melhoras para os próximos anos.

Com relação ao IDH, observa-se que apresentou uma tendência expressiva de crescimento ao longo dos anos, acompanhando o avanço econômico do país. Porém,

apesar de apresentar um IDH de médio para alto, o Brasil ainda enfrenta diversos desafios do ponto de vista humano e social. De acordo com o IBGE, em 2021, a pobreza no país apresentou um aumento recorde, atingindo 62,5 milhões de pessoas, maior nível desde 2012 (Ibge, 2022).

Figura 14 – Relação do desenvolvimento do PIB e IDH no Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor com os dados extraídos do (Bank, 2023e).

As principais atividades econômicas do Brasil são diversificadas, abrangendo os setores primário, secundário e terciário. No setor primário tem-se as atividades relacionadas à agricultura, pecuária, pesca e extrativismo. O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de commodities agrícolas do mundo, como soja, café, carne bovina, frango, cana-de-açúcar e laranja. O setor secundário, abrange a indústria de transformação, construção civil e produção de energia. O Brasil possui uma indústria diversificada, destacando-se nos setores automobilístico, aeronáutico, petroquímico, siderúrgico, têxtil e de alimentos. E, por fim, o setor terciário, o qual é o mais representativo da economia brasileira em termos de participação no PIB. Ele engloba os serviços, como comércio, transporte, educação, saúde, finanças, turismo, entre outros. Vale ressaltar que o Brasil também tem demonstrado avanços e expandido seus investimentos em áreas como tecnologia da informação, biotecnologia e energias renováveis. A exploração de petróleo, especialmente no pré-sal, tem se consolidado como um ponto forte na economia nacional (Indústria, 2023).

O Brasil é membro do Mercado Comum do Sul (Mercosul), bloco comercial que inclui Argentina, Paraguai e Uruguai ao qual recentemente incorporaram-se a Venezuela e a Bolívia, esta última em processo de adesão. O Mercosul é um processo aberto e dinâmico. Desde sua criação teve como objetivo principal propiciar um espaço comum que gerasse oportunidades comerciais e de investimentos mediante a integração competitiva das economias nacionais ao mercado internacional (Mercosul, 2023).

Por fim, a Tabela 5 mostra os indicadores apresentados anteriormente em valores quantitativos para o Brasil, que serão utilizados para o cálculo e proposição do novo índice para a análise dos países selecionados. Nas próximas seções serão detalhados tais indicadores selecionados e como estes se comportam e se relacionam ao longo dos últimos anos.

Tabela 5 – Valores dos indicadores para o país Brasil.

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	0,758
Acesso à eletricidade	100%
Geração de Energia	614,36 <i>TWh</i>
Produção de eletricidade a partir de Energias Renováveis	84,18%
Capacidade de Geração Instalada	195.000 <i>MW</i>

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados de (Undp, 2023; Cia, 2023; Ritchie; Roser; Rosado, 2022), relativos ao ano de 2020.

Portanto, apesar da Tabela 5 trazer valores satisfatórios do ponto de vista social e eletroenergéticos para o Brasil, sabe-se que o país ainda enfrenta alguns desafios, principalmente, do ponto de vista econômico e social. Do ponto de vista econômico, o país enfrenta a alta inflação, que amplia os problemas de distribuição de renda no país e contribui diretamente para a queda do PIB; a questão das taxas de desemprego, que atrelado a questões como alimentação, educação, saúde, saneamento, habitação e transporte, são uma das principais consequências das crises econômicas; além do crescimento da dívida pública externa; deficit público e corrupção elevada; burocracia excessiva; altas taxas de juros; entre outros fatores.

Do ponto de vista social, o país ainda possui grandes desafios, como já destacado anteriormente, ainda existem milhares de brasileiros sem acesso à eletricidade no país. Apesar do grande avanço que aconteceu no país após a implantação do Programa Luz para Todos, em 2003, visando implementar a universalização do acesso à energia elétrica para as famílias residentes no meio e que ainda não tinham acesso a esse serviço público. Além das comodidades imediatas proporcionadas pelo acesso à energia elétrica, também proporciona à população um instrumento de desenvolvimento e inclusão social. Em 2023, no novo governo do presidente Luiz Inácio Lula da Silva, foi relançado o novo Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica (Luz para Todos), o qual terá duração até 31 de dezembro de 2026, para o atendimento à população do meio rural e até

31 de dezembro de 2028, para o atendimento à população residente em regiões remotas da Amazônia Legal (Gov.br, 2023). Tal programa visa selecionar os desafios atuais de atender a população mais vulnerável e remota do país, conforme já detalhado anteriormente.

Mesmo com a proximidade da universalização do acesso dos brasileiros à energia elétrica, o país ainda enfrentará alguns problemas relacionado a pobreza energética. Segundo a (Pública, 2022) a pobreza energética ocorre quando um indivíduo tem limitações tecnológicas, físicas ou econômicas no acesso à energia. A barreira física de acesso à eletricidade o governo brasileiro pretende solucionar com o novo Programa Luz para Todos, porém o aspecto econômico ainda é um desafio no país, tal fato é corroborado com o dado de que cerca de 40% dos brasileiros têm contas de luz atrasadas e muitos deles ainda precisam escolher entre pagar a conta de luz ou se alimentar (Pública, 2022). Além disso, um mapeamento do Instituto Pólis, mostra que a distribuição de energia nos domicílios pelo país segue um padrão de raça e classe, isto é, as regiões onde há menor acesso à energia e maior duração de interrupção no fornecimento são as regiões com predominância de população negra e de baixa renda, e são também áreas nas quais o consumo de energia é menor (Pólis, 2022).

Neste contexto, o país ainda precisará se desenvolver economicamente para diminuir esse abismo social, além de estudar, junto aos órgãos competentes, novas formas de cobrança das tarifas de energia, principalmente para a população vulnerável. O preço da energia elétrica ainda é um impeditivo para o acesso no país. Segundo o *Energy Poverty Observatory* (EPOV), ligado à Comissão Europeia, as contas de energia (energia elétrica e GLP) não deveriam comprometer mais de 10% da renda domiciliar dos consumidores, para não afetar a capacidade das famílias de arcar com outras despesas. No entanto, a pesquisa realizada pela Inteligência em Pesquisa e Consultoria Estratégica (IPEC) demonstrou que os gastos com energia comprometem metade ou mais da metade da renda de 46% das famílias brasileiras que têm renda média mensal de até 1 salário mínimo ou que pertencem à classe D/E (Pólis, 2022). Ademais, o país precisa se ajustar à estes parâmetros, principalmente se quiser assumir a liderança no processo dos países do globo na busca por uma transição justa e sustentável.

O Brasil apresenta uma matriz elétrica majoritariamente renovável, isso porque grande parte da energia elétrica gerada no Brasil vem de usinas hidrelétricas. A energia eólica e solar, também vem crescendo bastante, contribuindo para que a nossa matriz elétrica continue sendo, em sua maior parte, renovável. Portanto, segundo (Irena, 2023a) o Brasil apresenta a tendência de capacidade instalada de eletricidade voltado para a maior participação de fontes renováveis, conforme mostrado na Figura 15. Além disso, nota-se uma porcentagem alta de 77% de geração de eletricidade através de fontes renováveis no ano de 2021, conforme mostrado na Tabela 6.

Figura 15 – Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Brasil.



Fonte: (Irena, 2023a).

Tabela 6 – Perfil da geração de eletricidade no Brasil.

	Brasil	
	GWh	%
Geração de Eletricidade em 2021		
Não-renováveis	148.529	23
Renováveis	507.667	77
Hidro e Marinha	362.818	55
Solar	16.761	3
Eólica	72.286	11
Bioenergia	55.801	9
Geotérmica	0	0
Total	656.196	100

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados do *website* da (Irena, 2023a), para o ano de 2021.

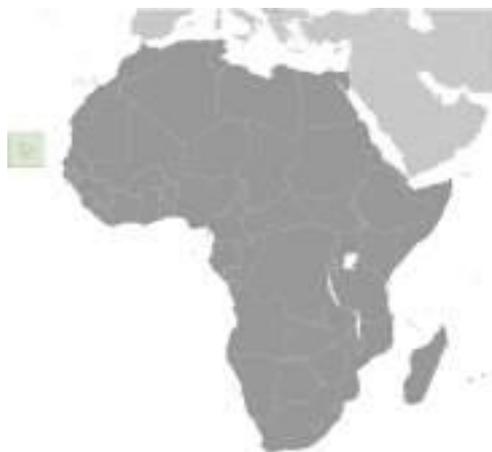
Por fim, importante notar que mesmo com uma matriz elétrica majoritariamente limpa e com indicadores satisfatórios de acesso à eletricidade e IDH, o Brasil ainda enfrenta diversos desafios do ponto de vista social, os quais impactam o seu desenvolvimento econômico e, conseqüentemente, energético. Neste sentido, alguns esforços deverão ser

tomados visando o cumprimento das metas globais de descarbonização e energia limpa e acessível. O atual governo brasileiro já anunciou um plano verde, o qual engloba as questões energéticas, sociais e econômicas do país, porém medidas ainda precisam ser tomadas para que o país ocupe a posição de líder no processo global da transição energética, principalmente do ponto de vista regulatório.

2.1.3 Cabo Verde

Cabo Verde, oficialmente República de Cabo Verde, é um país africano, situado na África Ocidental, e um arquipélago de origem vulcânica constituído por dez ilhas pequenas e montanhosas, no Oceano Atlântico Norte, a oeste do Senegal, conforme mostrado na Figura 16. Seu território abrange 4.033 km^2 de área, com uma população estimada de 603.901 pessoas. A população se divide de forma variável entre as nove ilhas habitadas. As ilhas do leste são muito secas e apenas escassamente povoadas para explorar os seus extensos depósitos de sal; as ilhas mais a sul recebem mais precipitação e sustentam populações maiores, mas a agricultura e a pecuária prejudicaram a fertilidade do solo e a vegetação; aproximadamente metade da população vive na Ilha de São Tiago, onde fica a capital da Praia; Mindelo, na ilha norte de São Vicente, também tem uma grande população urbana (Cia, 2023; Unilab, 2023).

Figura 16 – Mapa com a localização geográfica de Cabo Verde.



Fonte: (Cia, 2023).

As ilhas desabitadas foram descobertas e colonizadas pelos portugueses no século XV. Cabo Verde tornou-se posteriormente um centro comercial de escravos africanos e mais tarde um importante ponto de passagem de carvão e reabastecimento para a caça à baleia e a navegação transatlântica. A fusão de tradições culturais europeias e africanas reflete-se na língua crioula (em processo de normatização e adoção como segunda língua oficial do país), na música e nos panos têxteis de Cabo Verde. Após a independência em 1975, e um interesse provisório na unificação com a Guiné-Bissau, um sistema de partido

único foi estabelecido e mantido até à realização de eleições multipartidárias em 1990. Cabo Verde continua a sustentar um dos governos democráticos mais estáveis da África (Cia, 2023).

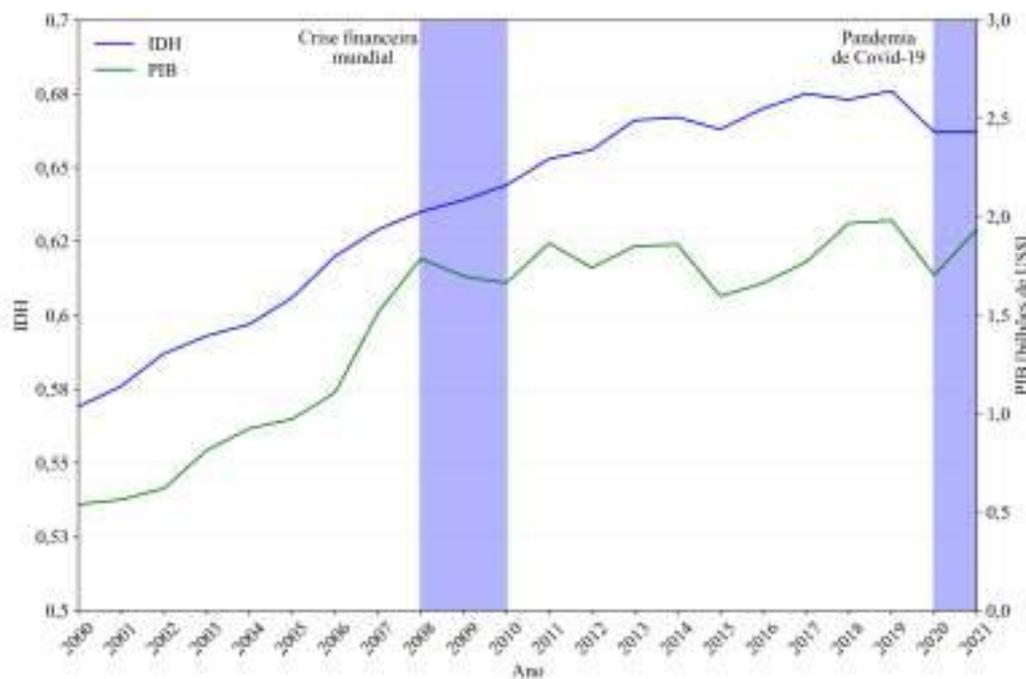
A população de Cabo Verde tem antecedentes africanos e portugueses, com predominância de escravos da África Ocidental. Ao longo dos séculos, enfrentou flutuações demográficas devido a fome, epidemias e emigração, que causaram elevados números de mortes e emigração no país. Em novembro de 2021, José Maria Pereira Neves tornou-se o último presidente do país, segundo informações da (Cia, 2023). Do ponto de vista econômico, o país depende da agricultura e dos recursos marinhos, apesar dos desafios causados pela seca. Destacam-se a produção de café, cana-de-açúcar, aguardente, vestuário, calçados e produtos de pesca. O comércio e o turismo, especialmente na ilha do Sal, é fundamental, contribuindo com 69% do PIB. No entanto, mais de 80% dos alimentos são importados (Unilab, 2023).

A Figura 17 apresenta a projeção do PIB (US\$ Atual) e do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) em Cabo Verde. Nota-se que tanto o IDH quanto o PIB do país apresentaram um período de crescimento expressivo até o ano de 2008. Nota-se que o PIB de Cabo Verde apresentou uma tendência de crescimento até o marco da crise financeira mundial, apresentando uma queda entre os anos de 2008 à 2010. Segundo o estudo (Bank; Oecd; Undp, 2017), entre 2000 e 2008, o país registou uma taxa média de crescimento de 6,6%, antes da recessão de 2009 no âmbito da crise europeia. A seguir a este período, e apesar de uma política contra-cíclica com elevadas despesas de investimento, Cabo Verde só conseguiu crescer a uma taxa média de 1,3% ao longo do período 2010-15. Como consequência dos elevados gastos de investimento, o nível da dívida aumentou drasticamente, de 71,9% do PIB, em 2010, para 125,9%, em 2015. Porém, em 2016, a economia registou alguns sinais positivos de recuperação, se mantendo estável até 2019, apresentando uma queda no período da Pandemia de Covid-19. Portanto, segundo (Bank; Oecd; Undp, 2023), estima-se que o PIB de Cabo Verde cresça 5,7% em 2023 e 6,2% em 2024, apoiado pela agricultura, energia, economia digital e turismo. Por outro lado, os efeitos da invasão da Ucrânia pela Rússia, o aumento das taxas de juro globais, as alterações climáticas e a potencial recessão na Europa (que representa 80% das importações) representam riscos e ameaças a este crescimento.

Com relação ao IDH, apresentou uma tendência expressiva de crescimento ao longo dos anos. Esforços contínuos para melhorar indicadores de saúde, educação e renda contribuíram para avanços no desenvolvimento humano no país. Cabo Verde é o país do continente africano, dentre os países estudados neste trabalho, que apresenta o melhor IDH, tais resultados se devem a políticas públicas aplicadas ao longo dos anos no segmento da educação e saúde no país, além da diversificação econômica. Apesar do progresso, Cabo Verde ainda enfrenta desafios, como a escassez de recursos naturais e as vulnerabilidades econômicas. Esses desafios podem influenciar a capacidade do país de sustentar ganhos

contínuos no IDH ao longo dos próximos anos. Além disso, devido a Pandemia do Covid-19, o país registrou uma queda no IDH entre os anos de 2019 e 2021.

Figura 17 – Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em Cabo Verde.



Fonte: Elaborado pelo autor com os dados extraídos do (Bank, 2023e).

Devido sua configuração geográfica, Cabo Verde apresenta uma variedade de atividades econômicas, com foco principal na agricultura e na pesca, conforme dissertado anteriormente. A produção agrícola, centrada em culturas como milho, feijão, batata-doce e mandioca, visa principalmente o mercado interno, assim como a pecuária e a produção de leite. A pesca, especialmente a artesanal, desempenha um papel crucial tanto para o consumo local quanto para a exportação. A indústria, ainda em desenvolvimento, abrange o processamento de produtos agrícolas, pequenas fábricas de alimentos e a produção artesanal de diversos artigos (Unilab, 2023).

Desde 1998, Cabo Verde adotou o euro como moeda, anteriormente vinculada ao escudo português. Secas recorrentes no século XX acarretaram dificuldades e emigração expressiva, levando à formação de uma diáspora maior do que a população local (Cia, 2023). Esta comunidade expatriada contribui significativamente com remessas financeiras, sustentando a economia do país. Paralelamente, o investimento no turismo tem sido uma prioridade, com um aumento substancial nos investimentos estrangeiros, totalizando cerca de 121,6 milhões de euros em 2022, em comparação com 76,4 milhões de euros, em 2021, conforme dados do Banco de Cabo Verde (BCV) (Observador, 2023).

Por fim, a Tabela 7 mostra os indicadores apresentados anteriormente em valores quantitativos para Cabo Verde, que serão utilizados para o cálculo e proposição do novo índice para a análise dos países selecionados. Nas próximas seções serão detalhados tais indicadores selecionados e como estes se comportam e se relacionam ao longo dos últimos anos.

Tabela 7 – Valores dos indicadores para o país Cabo Verde.

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	0,662
Acesso à eletricidade	94,16%
Geração de Energia	0,40 <i>TWh</i>
Produção de eletricidade a partir de Energias Renováveis	16,28%
Capacidade de Geração Instalada	205 <i>TW</i>

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados de (Undp, 2023; Cia, 2023; Ritchie; Roser; Rosado, 2022), relativos ao ano de 2020.

Apesar de apresentar um índice de desenvolvimento humano considerado médio e apresentar uma economia com tendência de crescimento, principalmente pelos investimentos de expatriados e pelo desenvolvimento do turismo, Cabo Verde ainda enfrenta diversos desafios, principalmente do ponto de vista eletroenergéticos. Do ponto de vista econômico, a economia de Cabo Verde é pequena e vulnerável a choques externos, o que pode representar desafios em termos de sustentabilidade econômica. Além disso, o país ainda é muito dependente de importações, principalmente de alimentos e energia, o que torna a economia sensível às flutuações nos mercados globais (Unilab, 2023).

Do ponto de vista eletroenergético, o país possui um indicador de acesso à eletricidade satisfatório de 94,16% (Cia, 2023), porém ainda enfrenta alguns desafios com relação a cobertura elétrica, eletrificação das áreas rurais e remotas, desafios de fornecimento, qualidade, confiabilidade e o preço da energia. De modo geral, as áreas urbanas do país possuem acesso à eletricidade, no entanto, algumas áreas rurais e ilhas mais remotas podem enfrentar desafios de acesso devido à dispersão geográfica e à dificuldade de implementação de infraestrutura (Goals, 2021). O país também enfrenta dificuldades relacionadas à segurança do abastecimento e à volatilidade dos preços internacionais do petróleo, devido a alta dependência de combustíveis fósseis. Em algumas regiões do país podem ocorrer interrupções ocasionais de energia, devido a fatores como necessidade de manutenção, eventos climáticos ou limitações na infraestrutura, tornando a qualidade e confiabilidade do fornecimento de energia mais variável. Por fim, a produção de energia é majoritariamente sustentada por centrais termoelétricas, que são alimentadas por combustíveis fósseis, o que representa um peso significativo no preço da energia, cerca de 70% da estrutura de custos, refletindo-se nos demais campos da economia (Monteiro, 2012; Filho; Xavier; Alcócer, 2018).

Como pode-se observar na Tabela 7, apenas 16,28% da produção de eletricidade de

Cabo Verde é a partir de energias renováveis (Ritchie; Roser; Rosado, 2022), portanto, o país enfrenta desafios significativos na transição energética. Como já dito anteriormente, historicamente Cabo Verde, dependeu fortemente de combustíveis fósseis para geração de energia, bem como a dependência externa, através da importação destes combustíveis. No entanto, o país tem buscado soluções sustentáveis, aproveitando seu considerável potencial de energia renovável, incluindo solar, eólica e marítima. A implementação estratégica de parques eólicos e usinas solares visa diversificar a matriz elétrica, reduzir emissões de carbono e fortalecer a segurança energética, refletindo a ambição do país em se tornar um exemplo de liderança em energias renováveis na África (Onu, 2020).

O governo de Cabo Verde tem implementado políticas e estratégias para aprimorar o acesso à energia, promover a transição para fontes mais limpas e sustentáveis, e enfrentar os desafios das alterações climáticas. Globalmente, a não implementação do Acordo de Paris, pode resultar em perdas significativas no PIB per capita do país até 2030 e 2050. Em resposta, políticas públicas estão sendo desenvolvidas para abordar as alterações climáticas, com foco em investimentos na economia "azul", reflorestação e restauração dos ecossistemas. O governo está promovendo uma transição energética justa, destacada por investimentos em energias renováveis, como um parque eólico de 10 *MW* em 2022 e 150 *MW* de energia fotovoltaica até 2030. A meta é atingir 30% de energia renovável em 2025 e 50% até 2030, apoiada por medidas de adaptação e mitigação climáticas (Fmi, 2023). Apesar do progresso em direção aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, o país enfrenta enormes necessidades de financiamento climático, estimadas em 2 mil milhões de euros (Desenvolvimento, 2022).

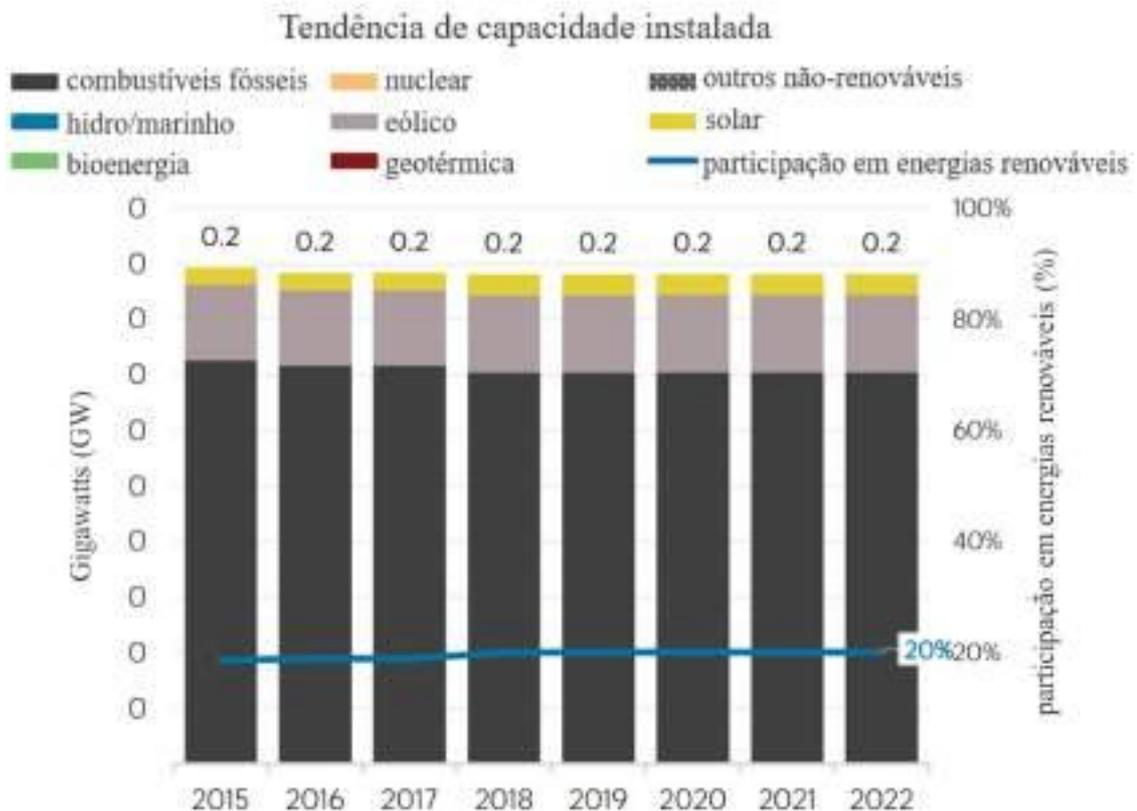
As reservas fiscais limitadas agravam a lacuna no financiamento climático privado de Cabo Verde para 2020-2030, estimado em 120,3 milhões de dólares (2% do PIB). Embora o país tenha estabilidade no quadro regulamentar para parcerias público-privadas e experiência em financiamento misto, a participação no financiamento climático privado é restrita, evidenciada pela disparidade entre o financiamento privado (12,20 dólares) e público (157,50 dólares) per capita. Desafios incluem um sistema financeiro fraco e limitações de competências. Inovações incluem o vínculo social, fundo azul na plataforma Blu-X e uma troca de dívida pela natureza com Portugal no valor de 150 milhões de dólares. No futuro, mobilizar capital público para atrair investimento privado é essencial para enfrentar os desafios climáticos e proteger os recursos naturais, incluindo pesca e minerais, que contribuem abaixo de seu potencial para o PIB (Bank; Oecd; Undp, 2023).

A matriz elétrica de Cabo Verde tem passado por transformações importantes nos últimos anos, refletindo os esforços do país para reduzir sua dependência de combustíveis fósseis e promover a sustentabilidade ambiental. Historicamente, a principal fonte de geração de eletricidade em Cabo Verde tem sido os combustíveis fósseis, conforme mostrado na Figura 18, principalmente o óleo diesel, devido à limitada disponibilidade de recursos naturais para produção de energia. Porém, o governo cabo-verdiano tem direcionado seus

esforços para diversificar a matriz elétrica, em particular com as fontes solar e a eólica, conforme mostrado na Figura 18. A topografia montanhosa e a localização geográfica do país proporcionam condições favoráveis para a geração através destas fontes (Irena, 2023a).

Projetos de parques eólicos e usinas solares têm sido implementados como parte integrante dessa transição. Segundo (Irena, 2023a), no ano de 2021, a utilização da capacidade elétrica correspondia a 29% de combustíveis fósseis, 30% de eólicas e 10% de solar. Essas iniciativas visam não apenas reduzir as emissões de carbono, mas também aumentar a segurança e a estabilidade energética do país. Apesar dos avanços, Cabo Verde enfrenta desafios na transição de sua matriz elétrica, incluindo a intermitência das fontes renováveis. Isso requer investimentos em armazenamento de energia e uma infraestrutura elétrica mais robusta. Além disso, as questões relacionadas ao financiamento e à capacidade institucional também são áreas críticas a serem enfrentadas no processo de transição. Em resumo, a matriz elétrica de Cabo Verde está em um processo dinâmico de transição para fontes mais limpas e renováveis. Os esforços do governo, combinados com investimentos em tecnologias sustentáveis, refletem o compromisso do país com a promoção da energia renovável e a construção de uma base energética mais resiliente e sustentável para o futuro.

Figura 18 – Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Cabo Verde.



Fonte: (Irena, 2023a).

Tabela 8 – Perfil da geração de eletricidade em Cabo Verde.

Geração de Eletricidade em 2021	Cabo Verde	
	GWh	%
Não-renováveis	361	82
Renováveis	81	18
Hidro e Marinha	0	0
Solar	7	2
Eólica	74	17
Bioenergia	0	0
Geotérmica	0	0
Total	442	100

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados do *website* da (Irena, 2023a), para o ano de 2021.

Vale ressaltar que do ponto de vista político Cabo Verde apresenta uma estabilidade e governança democrática (Bank, 2023b), marcado por eleições regulares e transições pacíficas de poder. Tal estabilidade contribuiu para o desenvolvimento socioeconômico do país e sua capacidade de atrair investimentos estrangeiros e ajuda internacional. Cabo Verde também vem se destacando com relação as políticas públicas para promover o desenvolvimento sustentável, energia renovável e turismo como impulsionadores para seu crescimento econômico. Por fim, apesar de todos os avanços, a pobreza ainda persiste em algumas regiões, fazendo com que medidas sociais e estratégias de redução da desigualdade sejam implementadas.

2.1.4 Guiné-Bissau

Guiné-Bissau, oficialmente República da Guiné-Bissau, é um país da África Ocidental que faz fronteira com o Senegal ao norte, Guiné ao sul e ao leste e com o Oceano Atlântico a oeste, conforme mostrado na Figura 19. O território guineense abrange 36.125 km^2 de área, com uma população estimada de 2.078.820 de pessoas (Cia, 2023). Além do território continental, integra ainda cerca de oitenta ilhas que constituem o Arquipélago dos Bijagós, separado do continente pelos canais do rio Geba, de Pedro Álvares, de Bolama e de Canhabaque. Sua capital é a cidade de Bissau, sua moeda é Franco e a língua oficial é o português (Unilab, 2023).

Figura 19 – Mapa com a localização geográfica de Guiné-Bissau.



Fonte: (Cia, 2023).

Desde a independência de Portugal em 1974, a Guiné-Bissau enfrentou conflitos políticos e militares, incluindo golpes e instabilidade. Após a queda do presidente autoritário João Bernardo Nino Vieira em 1999, houve um período de mudanças rápidas na liderança, marcado por golpes militares e eleições. José Mario Vaz foi eleito presidente em 2014, tornando-se o primeiro a completar um mandato completo em 2019. Atualmente, Umaro Sissoco Embaló é o presidente, assumindo o cargo em fevereiro de 2020 (Cia, 2023).

Portanto, pode-se concluir que a Guiné-Bissau é um país marcado por uma história política complexa e desafios socioeconômicos persistentes desde a sua independência de Portugal. O país enfrentou instabilidade política, golpes de Estado e conflitos internos, resultando em períodos de governança tumultuada. Porém, possui um enorme patrimônio cultural, rico e diversificado. As diferenças étnicas e linguísticas produziram grande variedade na dança, na expressão artística, na tradição musical e nas manifestações culturais (Unilab, 2023).

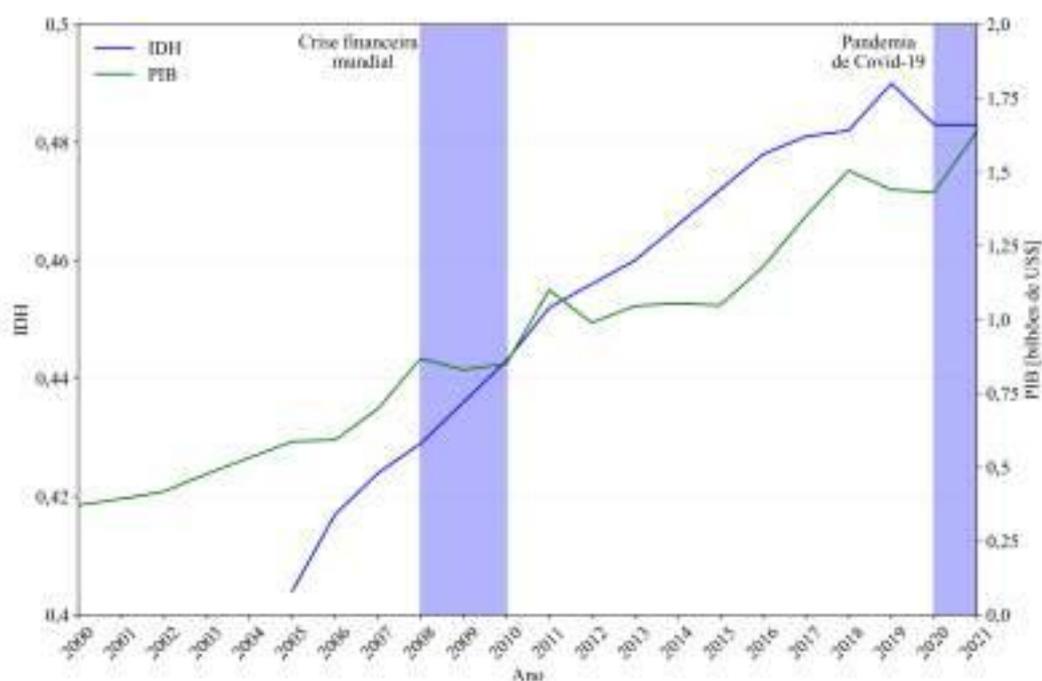
Guiné-Bissau é altamente dependente da agricultura e da pesca, representando cerca de 62% do PIB (Unilab, 2023). Além disso, o país também depende das exportações de peixes e mariscos juntamente com amendoim, semente de palma e produtos das atividades extrativas florestais, adicionalmente, necessita de ajuda externa. O país exporta peixe e ocupa o sexto lugar na produção mundial de castanhas e caju (Comba, 2022). O turismo é, também, uma aposta crescente do país.

A Figura 20 apresenta a projeção do PIB (US\$ Atual) e do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) em Guiné-Bissau. A crise financeira mundial, no ano de 2008, afetou o crescimento do PIB do país, apresentando uma queda devido, principalmente, a diminuição acentuada nos preços das *commodities*, redução nos investimentos estrangeiros e a instabilidade nos mercados financeiros internacionais. Segundo (Exteriores, 2012), o PIB de Guiné-Bissau, apresentou uma tendência de crescimento, pós-crise financeira

mundial, porém entre 2011 e 2012, foi frustrada e segundo o Fundo Monetário Internacional (FMI), o país sofreu retração de 2,81% em sua economia. Também no ano de 2012 aconteceu o último golpe militar do país. Após o retorno à ordem constitucional, o país experimentou uma dinâmica positiva, mas enfrentou incertezas nos anos seguintes. Entre 2015-16, quatro Primeiros-Ministros foram demitidos, resultando em uma instabilidade política, mas apesar deste ambiente político desafiador, o PIB estimado em 2016 cresceu cerca de 4.9%, impulsionado por um bom ano agrícola (Bank; Oecd; Undp, 2023), até o ano de 2018, no qual o PIB sofre uma nova queda. Apesar de apresentar um dos menores PIB entre os países da CPLP, sofrendo com os impactos da pandemia de Covid-19, Guiné-Bissau apresenta uma tendência de crescimento, que a médio prazo, será apoiado pela implementação de reformas estruturais destinadas a melhorar a eficiência do setor público e o ambiente empresarial (Bank, 2023e).

A Guiné-Bissau é um dos países mais pobres e mais frágeis do mundo, neste contexto, do ponto de vista do IDH, o país apresenta um dos piores desempenhos entre os países da CPLP. Porém, conforme mostrado na Figura 20, o IDH apresenta uma tendência de crescimento ao longo dos anos, marcado por uma queda no período pré-pandemia de Covid-19. Segundo o Banco Mundial, os níveis de pobreza na Guiné-Bissau são elevados, no ano de 2010, cerca de 70% da população situava-se abaixo da linha de US\$ 2 por dia. Além disso, é muito pouco provável que o país atinja qualquer um dos ODS até 2030 devido aos resultados fracos, no que tange à pobreza, nutrição, educação primária, equidade de gênero, saúde, e acesso a serviços básicos.

Figura 20 – Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em Guiné-Bissau.



Fonte: Elaborado pelo autor com os dados extraídos do (Bank, 2023e).

Do ponto de vista econômico, observa-se uma tendência de diminuição da diversificação no país, que, predominantemente rural, tem na agricultura seu principal setor econômico. Tal crescente dependência do setor agrícola destaca a vulnerabilidade econômica do país. Um dos desafios mais significativos enfrentados pela Guiné-Bissau, é a sua dependência em relação a um único produto de destaque para exportação, a castanha de caju. No entanto, paradoxalmente, o país importa quantidades substanciais de arroz, um alimento básico nas famílias guineenses. Isso resulta em um cenário, em que os ganhos obtidos com as exportações são essencialmente direcionados para cobrir os custos de importação, sem contribuir para o desenvolvimento econômico sustentável do país (Comba, 2022).

O país também enfrenta problemas relacionados ao tráfico de entorpecentes e a extração ilegal de madeira. A combinação de perspectivas econômicas limitadas, instituições fracas e geografia favorável fizeram deste país da África Ocidental uma estação intermediária para as drogas com destino à Europa. Ademais, nos últimos anos vem-se registrando um aumento descontrolado de corte e venda ilegal de madeiras. As principais causas para o desflorestamento são para construções das moradias, extração das madeiras para venda, produção das mobílias nas indústrias, pecuária, exportação, produção de energia, entre outros fatores, segundo (Correia, 2023). Medidas de mitigação devem ser adotadas pelo Estado, visando investir no reflorestamento das zonas degradadas e proibir a queima e

corte, cumprir as leis de proteção ambiental e colocar em prática as legislações nacionais e internacionais para conter as ações nocivas de degradação da natureza.

Guiné-Bissau tem perspectivas promissoras para a exploração de petróleo e gás em águas profundas, além de um vasto potencial na indústria de mineração, abrangendo fosfatos, bauxita e areias minerais. A exploração de hidrocarbonetos tem o potencial de impulsionar a economia do país, oferecendo novas fontes de receita e oportunidades para diversificação econômica. No entanto, é crucial que seja realizada de maneira sustentável para mitigar possíveis impactos ambientais adversos.

Por fim, a Tabela 9 mostra os indicadores apresentados anteriormente em valores quantitativos para Guiné-Bissau, que serão utilizados para o cálculo e proposição do novo índice para a análise dos países selecionados. Nas próximas seções serão detalhados tais indicadores selecionados e como estes se comportam e se relacionam ao longo dos últimos anos.

Tabela 9 – Valores dos indicadores para o país Guiné-Bissau.

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	0,483
Acesso à eletricidade	33,34%
Geração de Energia	0,08 <i>TWh</i>
Produção de eletricidade a partir de Energias Renováveis	0%
Capacidade de Geração Instalada	28 <i>MW</i>

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados de (Undp, 2023; Cia, 2023; Ritchie; Roser; Rosado, 2022), relativos ao ano de 2020.

Analisando os indicadores sociais e eletroenergéticos de Guiné-Bissau, pode-se concluir que o país enfrenta diversos desafios. O IDH se encontra classificado como baixo, cerca de apenas 33,34% da população do país tem acesso à eletricidade e a maior parte da produção de eletricidade é proveniente de fontes não renováveis de energia, como os combustíveis fósseis. Principalmente, devido aos períodos de instabilidade política e golpes militares que o país enfrentou ao longo de sua história, afetou-se a sua governança e a implementação eficaz de políticas de desenvolvimento social, econômico e eletroenergéticos.

Do ponto de vista social, desafios como a pobreza e a desigualdade, que é generalizada pelo país, são enfrentados. O acesso a serviços básicos, como educação e saúde, ainda é muito limitado para a população. O país possui taxas de analfabetismo relativamente altas e problemas de acesso a cuidados de saúde, além de desigualdades socioeconômicas. Segundo o Banco Mundial, após o golpe militar de 2012, os índices de desnutrição e insegurança alimentar subiram ainda mais, como consequência da pobreza que o país enfrentava (Mundial, 2015). Em 2022, um estudo realizado pelo Programa Alimentar Mundial (PAM) apontou que quase três quartos da população da Guiné-Bissau não têm acesso a uma dieta energética devido aos elevados níveis de pobreza. O custo diário para

uma família de sete membros é de US\$ 2,35 e a dieta nutritiva custa US\$ 4. Uma barreira que elimina mais de 68% da população (Onu, 2022b).

Como já citado anteriormente, um dos principais motivos relacionados ao agravamento da pobreza no país, é a situação da economia altamente dependente da agricultura, o que a torna vulnerável a flutuações nos preços das *commodities*. Além disso, o país também sofre com algumas doenças, como a Ébola e as consequências da Pandemia de Covid-19. O setor de saneamento básico e acesso à água potável também não é desenvolvido, o que agrava ainda mais a situação da saúde pública no país.

Do ponto de vista eletroenergéticos, Guiné-Bissau possui um indicador de acesso à eletricidade muito baixo de 33,34% (Cia, 2023), a infraestrutura elétrica do país enfrenta limitações, e muitas áreas, especialmente em regiões rurais e remotas, possuem acesso restrito ou inexistente à eletricidade. Outros motivos contribuem para a falta do acesso à energia elétrica na Guiné-Bissau como, por exemplo, o envelhecimento das infraestruturas de rede elétricas, fraudes e debilidade da governança e da gestão pública, resultantes de cíclicas crises político-institucionais (Group, 2018). A Guiné-Bissau possui uma das taxas de eletrificação mais baixas da África. A produção de eletricidade no país depende principalmente de fontes não renováveis de energia, através de geração termoelétrica a partir de combustíveis fósseis, porém o país também possui pequenas centrais hidroelétricas e solares. Problemas relacionados a confiabilidade e qualidade no fornecimento de eletricidade no país também são frequentes, oferecendo desafios na manutenção e expansão da infraestrutura da rede elétrica e a intermitência na prestação do serviço.

Conforme já dito anteriormente e evidenciado na Tabela 10, cerca de 93% da geração de eletricidade do país é proveniente de fontes não renováveis de energia (Irena, 2023a). Neste contexto, a Guiné-Bissau enfrenta diversos desafios relacionados a transição energética e, além disso, existem pouquíssimos estudos sobre o potencial de melhoria da oferta e diversificação da matriz energética do país. Basicamente, duas fontes de energia primária são utilizadas pelo país, o petróleo e seus derivados e a biomassa tradicional (lenha). O sistema de fornecimento de energia é baseado no acionamento de geradores à diesel pela empresa de eletricidade e água da Guiné-Bissau (EAGB). Vale ressaltar que o país não é produtor e nem tem refinaria para a produção do petróleo e seus derivados, ou seja, importa 100% desse combustível para o abastecimento interno, o que gera um alto custo de importação para a economia de Guiné-Bissau. Prestação de serviço de baixa qualidade por sua única central de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, perdas constantes nas redes de distribuição de energia são características do sistema elétrico do país (Indi, 2022).

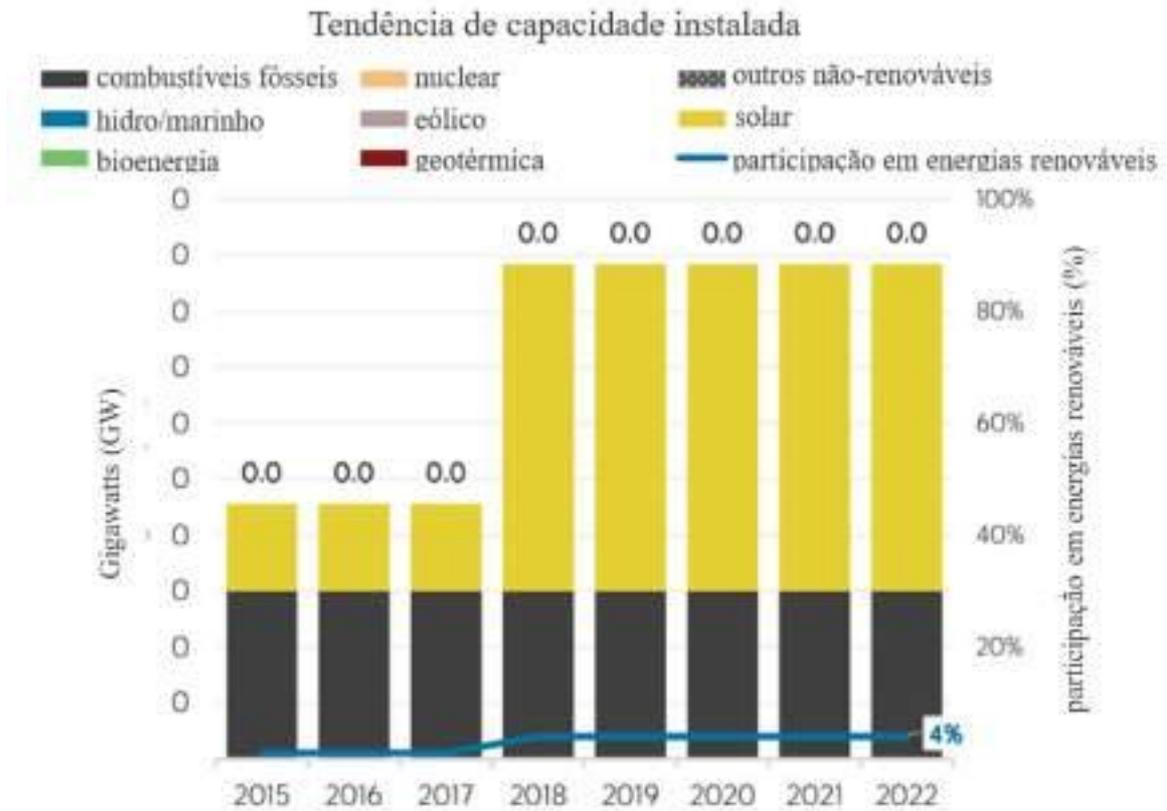
No entanto, apesar do ambiente político e econômico instável que se tem vivido na Guiné-Bissau e que tem afetado o desenvolvimento de diversos setores da economia, incluindo o de energia, o país pretende adotar uma estratégia clara com uma visão dinâmica

e transformadora, capaz de resolver problemas estruturantes, assegurando o bem estar da população e o desenvolvimento sustentável do país. A estratégia centra-se em torno de três eixos principais, segundo (Energy, 2010): 1. Pelo menos 80% de acesso à energia elétrica, em que a maioria será produzida por fontes energéticas renováveis em 2030 (pelo menos 50% de penetração de renováveis na rede nacional em 2030 e 80% da penetração de renováveis na energia gerada em sistemas fora da rede); 2. Pelo menos 75% da população do país com acesso a fontes seguras e modernas para cocção; 3. Adoção e interiorização de práticas racionais e eficientes de produção e consumo de energia. Tais metas são ousadas, principalmente devido a instabilidade política, a falta de financiamento externo e a necessidade de fortalecer as instituições no país. No entanto, superar esses desafios pode abrir oportunidades para o crescimento sustentável.

Os tipos de recursos energéticos existentes na Guiné-Bissau são petróleo e seus derivados, solar, eólica, hídrica, ondas e marés, biomassa (Indi, 2022). O país possui um grande potencial para a utilização de fontes renováveis, principalmente a solar, conforme mostrado na Figura 21. A incidência solar é significativa ao longo do ano, e a energia eólica também é uma fonte promissora, especialmente em áreas costeiras. Assim, o governo deve estimular o desenvolvimento de projetos locais voltados para energias renováveis para melhorar a resiliência energética. Isso pode incluir a implementação de sistemas solares descentralizados, micro-redes e outras soluções inovadoras.

Para atingir os objetivos de transformação energética, a Guiné-Bissau precisa investir em políticas públicas voltadas para a promoção e incentivo de fontes de energia mais limpas. Para isto, é importante que o país crie um ambiente regulatório favorável para atrair investimentos, principalmente internacionais, para a construção de instalações solares, eólicas, entre outras infraestruturas sustentáveis, além de explorar parcerias público-privadas. É importante, neste processo, diversificar as fontes de energia para reduzir a dependência de uma única fonte na matriz energética e incentivar o uso de tecnologias inovadoras e soluções descentralizadas.

Figura 21 – Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Guiné-Bissau.



Fonte: (Irena, 2023a).

Tabela 10 – Perfil da geração de eletricidade em Guiné-Bissau.

Geração de Eletricidade em 2021	Guiné-Bissau	
	GWh	%
Não-renováveis	25	93
Renováveis	2	7
Hidro e Marinha	0	0
Solar	2	7
Eólica	0	0
Bioenergia	0	0
Geotérmica	0	0
Total	27	100

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados do *website* da (Irena, 2023a), para o ano de 2021.

As lacunas de infra-estruturas na Guiné-Bissau são um obstáculo significativo para o seu desenvolvimento e um dos principais fatores é o déficit no fornecimento de energia. A energia representa um fator crítico para o crescimento econômico do país, segundo (Mundial, 2015). Neste sentido, observando a Figura 21 é possível perceber uma

disponibilidade para o uso de energias renováveis, com maior destaque para o uso da fonte solar no país. Porém, o país ainda enfrenta grandes desafios, devido à questões econômicas, políticas e sociais, mas o governo vem dando os primeiros passos na formulação de uma proposta de política nacional para a promoção de energias renováveis (eólica, solar, biomassa), o que pode fazer com que Guiné-Bissau avance nesta pauta.

Vale ressaltar ainda que a Guiné-Bissau está classificada como um dos países mais expostos a eventos extremos, ou seja, o impacto das alterações climáticas será generalizado e os recursos se esgotarão rapidamente, além disso, estima-se que incêndios poderão destruir mais de 120 *ha* de floresta por dia, segundo o Grupo Banco Africano de Desenvolvimento (Desenvolvimento, 2022). Apesar da diminuição geral da pluviosidade, as chuvas no país ficarão mais intensas e acompanhadas de ventos fortes, causando enormes perdas agrícolas. Já no ano de 2020, graves inundações atingiram a região de produção de arroz na região sul do país e o governo começou adotar medidas de adaptação às alterações climáticas. Estimam-se que as necessidades de financiamento estejam por cerca de 694 milhões de dólares americanos para 2021-30. Assim, é cada vez mais evidente a necessidade do país investir em políticas que promovam a transição energética.

2.1.5 Guiné Equatorial

Guiné Equatorial, oficialmente República da Guiné Equatorial, está localizada no Golfo da Guiné, conforme mostrado na Figura 22, organizada em duas divisões regionais: a Região Continental e a Região Insular. É um território continental, com cinco ilhas habitadas, sendo um dos menores países em área e população da África (Cia, 2023). A região continental faz fronteira ao norte com Camarões, a leste e sul com o Gabão e a oeste com o Golfo da Guiné. A ilha do Corisco também pertence a esta área. A capital do continente é a cidade de Bata. A região insular inclui a ilha de Bioko, onde estão localizadas a capital da ilha, Malabo, e a ilha de Annobón. A sua população foi estimada em 1,5 milhões de pessoas em 2021 (Bank, 2023e). A capital do país é Malabo. As línguas oficiais são o espanhol, o francês e o português. Sua moeda é o Franco CFA (Unilab, 2023).

Figura 22 – Mapa com a localização geográfica de Guiné Equatorial.



Fonte: (Cia, 2023).

No início da década de 1470, exploradores portugueses desembarcaram na ilha de Bioko, logo após estabelecerem o controle da ilha e de outras áreas da Guiné Equatorial. Em 1778, Portugal cedeu o seu domínio colonial sobre a atual Guiné Equatorial à Espanha no Tratado de El Pardo. As fronteiras da atual Guiné Equatorial evoluíram entre 1778 e 1968, à medida que a área permanecesse sob o domínio colonial europeu (Cia, 2023).

Em 1968, a Guiné Equatorial obteve a independência da Espanha e elegeu Francisco Macias Nguema como seu primeiro presidente, que consolidou seu poder logo após a eleição, e governou brutalmente o país durante aproximadamente 11 anos. Sob o seu regime, a Guiné Equatorial sofreu repressão em massa, expurgos e assassinatos. Algumas estimativas indicam que aproximadamente um terço da população foi para o exílio ou foi morta sob o seu governo. Em 1979, o atual Presidente Teodoro Obiang Nguema Mbasogo, um oficial militar superior, depôs o Presidente Francisco num golpe violento. O Presidente Teodoro governou o país desde então e foi eleito várias vezes em eleições não competitivas, mais recentemente em Novembro de 2022. De modo geral, o presidente exerce controle quase que total sobre o sistema político e não há espaço para oposição política no país (Cia, 2023). Além disso, Teodoro Obiang é um dos líderes mais duradouros no poder do mundo.

Governada há mais de quarenta anos pelo presidente Teodoro Obiang, a Guiné Equatorial é classificada como um dos países com os piores registros de direitos humanos do mundo, com acusações de manter presos políticos em seu território, reprimir a liberdade da população, promover o trabalho forçado, o tráfico humano e, com destaque, a submissão a um governo corrupto (Paiva *et al.*, 2023). Conforme citado na Seção 2.1, a Guiné Equatorial é considerada um dos países mais corruptos do mundo, segundo o índice de Transparência Internacional (2022). Por outro lado, é um país com uma cultura rica e diversificada, refletindo a herança histórica, étnica e cultural das diferentes comunidades que compõem o seu território.

A Guiné Equatorial registou um rápido crescimento econômico nos primeiros anos do século XXI devido à descoberta de grandes reservas de petróleo *offshore* em 1996. Os ganhos econômicos inesperados do país provenientes da produção de petróleo resultaram em aumentos significativos nas receitas do governo, e grande parte deste recurso foi destinada ao desenvolvimento de projetos de infraestrutura no país. Porém, a corrupção sistêmica prejudicou o desenvolvimento socioeconômico e as melhorias nos padrões de vida da população foram limitadas. Neste contexto, a Guiné Equatorial ainda necessita diversificar a sua economia, aumentar o investimento externo e assumir um papel mais importante nas pautas regionais e internacionais (Cia, 2023).

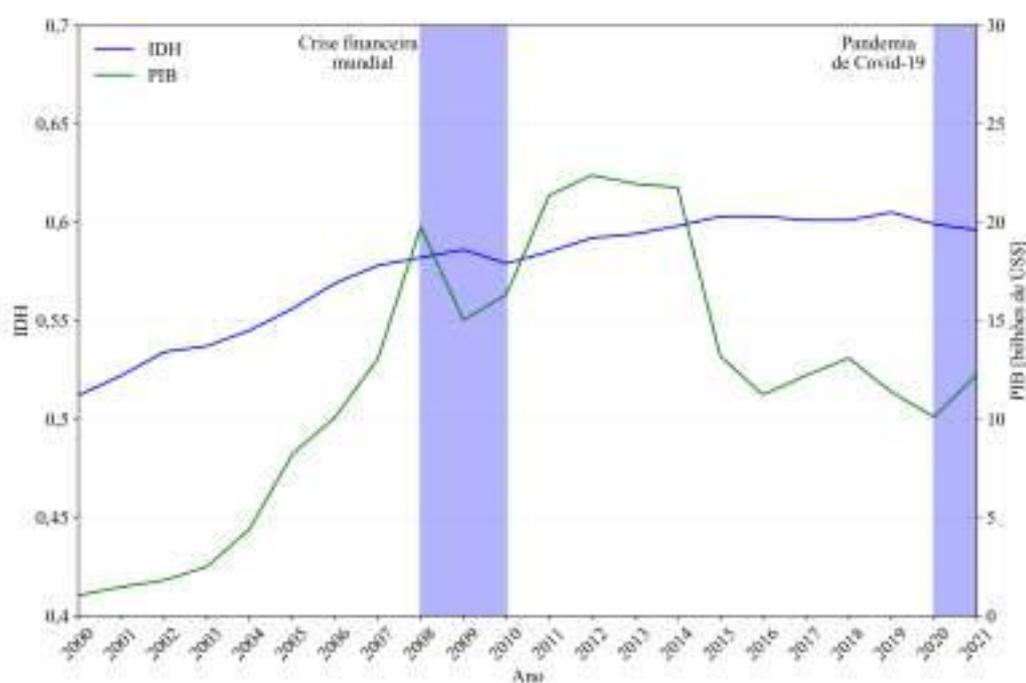
Segundo (Bank, 2023e), a descoberta de grandes reservas de petróleo na década de 1990, permitiu que a Guiné Equatorial se tornasse o terceiro maior produtor de petróleo da África Subsaariana, depois da Nigéria e de Angola. Em 2005, as reservas de petróleo destes países (Guiné Equatorial, Nigéria e Angola) representavam cerca de 80% do PIB, gerando assim uma dependência econômica relacionada a exploração dos seus recursos naturais (Carvalho, 2018). Do ponto de vista econômico, a Guiné Equatorial possui uma terra rica em recursos minerais, para além do petróleo e gás, com destaque para a agricultura (algodão, café, cana de açúcar e frutas) e pesca. Também se destacam as atividades com gado, exportação de madeira e minerais (Unilab, 2023).

A Figura 23 apresenta a projeção do PIB (US\$ Atual) e do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) em Guiné Equatorial. Desde a descoberta de petróleo em seu território, Guiné Equatorial, tem apresentado uma curva crescente com relação aos ganhos no PIB, porém com a crise financeira mundial, no ano de 2008, este crescimento foi frustrado, principalmente, pela redução na demanda global por petróleo, afetando as receitas de exportação do país. Além disso, a crise financeira global atingiu os investimentos estrangeiros no país, gerando impacto negativo com relação aos projetos de desenvolvimento e infraestrutura. Após este período, a economia de Guiné Equatorial apresentou uma perspectiva de melhora entre os anos de 2009 e 2014, devido ao aumento no preço das *commodities*, principalmente, a melhora no setor de petróleo e gás. No entanto, a situação macroeconômica e fiscal do país deteriorou-se no final do último superciclo das matérias-primas de 2014, com um crescimento médio negativo do PIB entre 2015 e 2021 (Bank, 2023e).

Ademais, entre os anos de 2020 e 2021, a pandemia de Covid-19 e as explosões acidentais de um quartel militar da cidade de Bata, infligiram grandes prejuízos à economia da Guiné Equatorial e aumentaram as necessidades de financiamento externo na balança de pagamentos, em um montante adicional projetado de USD 625 milhões (5% do PIB) para os anos 2021-22, segundo (Fmi, 2021). Os preços mais elevados dos bens de consumo e dos transportes reduziram o poder de compra das famílias e acentuaram a pobreza urbana, que atingiu 67% da população durante a pandemia, levando a uma taxa de pobreza global de 67% em 2022 (Bank; Oecd; Undp, 2023).

Como já dito anteriormente, a Guiné Equatorial é um dos menores países da África, tendo um dos maiores PIB per capita do continente. Porém, o país apresenta uma desigualdade social gigantesca. Cerca de 75% da população vive com menos de 1 dólar por dia (Smith, 2011) e todo o resto fica concentrado em uma pequena elite, principalmente a política. Tal situação é corroborada, conforme mostrado na Figura 23, pelo comportamento da curva do IDH do país, que não apresentou ganhos significativos, nem mesmo nos períodos de crescimento econômico, vinculado às reservas de petróleo. Além disso, o país enfrenta problemas como o desemprego, principalmente, devido a economia do país não ser diversificada e depender exclusivamente do ramo da indústria petrolífera, portanto, as vagas de emprego são quase que exclusivas para este setor. A falta de incentivo do governo no setor agrícola, tem levado o país a pobreza, estimulado pela diminuição da produção interna de produtos e a necessidade de importação (Paiva *et al.*, 2023). O índice de mortalidade infantil da Guiné Equatorial é também um dos maiores do mundo. Estima-se que em 2021 a cada mil crianças nascidas no país, cerca de 77 morrem antes de completar os 5 anos de idade (Unicef, 2021).

Figura 23 – Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em Guiné Equatorial.



Fonte: Elaborado pelo autor com os dados extraídos do (Bank, 2023e).

Em 2014, após um processo minucioso de adesão, a Guiné Equatorial se tornou oficialmente o nono membro da CPLP e o único membro com língua oficial não portuguesa - o português é uma língua co-oficial, porém cerca de 90% da população fala espanhol (Elpaís, 2014). Tal adesão buscou diversificar parcerias internacionais, permitindo colaborações

econômicas, culturais e políticas com os países lusófonos. Participar da CPLP ofereceu à Guiné Equatorial uma plataforma para debater questões globais, fortalecer a presença diplomática, promover o uso da língua portuguesa no país, permitir acesso a recursos financeiros e programas de cooperação, além de contribuir para o desenvolvimento de iniciativas locais. No entanto, a sua participação gerou debates devido a preocupações relacionadas aos direitos humanos e à governança, destacando a complexidade das dinâmicas dentro da CPLP (Cplp, 2023). Já em 2017, a Guiné Equatorial tornou-se membro do OPEP, representando uma tentativa do governo local de reforçar o investimento estrangeiro e as transferências de tecnologia de outros países membros, especialmente do Golfo (Bank, 2023e).

Do ponto de vista econômico, o país na pré-independência contava com a produção de cacau como o principal produto de exportação, porém com a descoberta do petróleo e gás, o investimento do governo no campo reduziu significativamente e o produto, bem como as produções agrícolas, passaram a ter uma parcela pouco relevante na economia (Bank, 2023e). Atualmente, a silvicultura, a agricultura e a pesca são componentes importantes do PIB, porém a agricultura de subsistência predomina, fazendo com que o país necessite importar alimentos. No entanto, o governo tem intenção de reinvestir algumas receitas advindas do petróleo na agricultura, com o objetivo de diversificar a economia (Undp, 2016).

O governo de Guiné Equatorial, através do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento Econômico e Investimentos Públicos, lançou uma agenda para a diversificação das fontes de crescimento, resultando na aprovação do Plano Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (PNDES) (Ecuatorial, 2015), no horizonte 2020. Os principais setores que foram alvo desta diversificação são: agricultura (que deverá crescer 12%), pesca industrial (com um crescimento esperado de 18%), transportes marítimos (crescimento previsto de 16%) e eletricidade (previsões apontam para um crescimento de 15%) (Bank; Oecd; Undp, 2023). Este planejamento estratégico concentrou-se em dois pilares básicos: Apoio à transformação agrícola para a diversificação econômica; e (ii) Capacitação na concepção e implementação de políticas públicas (Bank, 2018). Para a melhoria dos indicadores sociais, o governo criou a *Agência Nacional de Guiné Equatorial* (ANGE), uma agência que tem como objetivo desenvolver e monitorar a efetiva implementação do PNDES, adotando a Estratégia Nacional de Redução da Pobreza e contribuindo para o país alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável.

Por fim, a Tabela 11 mostra os indicadores apresentados anteriormente em valores quantitativos para Guiné Equatorial, que serão utilizados para o cálculo e proposição do novo índice para a análise dos países selecionados. Nas próximas seções serão detalhados tais indicadores selecionados e como estes se comportam e se relacionam ao longo dos últimos anos.

Tabela 11 – Valores dos indicadores para o país Guiné Equatorial.

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	0,596
Acesso à eletricidade	66,75%
Geração de Energia	1,4 <i>TWh</i>
Produção de eletricidade a partir de Energias Renováveis	34,75%
Capacidade de Geração Instalada	349 <i>TW</i>

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados de (Undp, 2023; Cia, 2023; Ritchie; Roser; Rosado, 2022), relativos ao ano de 2020.

A Guiné Equatorial enfrenta diversos desafios do ponto de vista social, principalmente o enfrentamento a pobreza e desigualdade social presente no país, portanto, seu IDH no ano de 2020 foi de 0,596, sendo considerado como um país de desenvolvimento médio, e ocupando uma das últimas posições em sua categoria no ranking dos países estudados pela ONU (Undp, 2023). Ademais, o país utiliza muito pouco os recursos de produção de eletricidade a partir de fontes de energia renováveis, apenas 34,75%, mostrando que sua matriz elétrica é predominantemente dependente de combustíveis fósseis. Cerca de 66,75% da população tem acesso à eletricidade, um dos índices de acesso à eletricidade mais altos dentre os países africanos estudados neste trabalho, porém o país ainda enfrenta desafios no abastecimento de energia elétrica, principalmente devido a grande parte da população ser residente nas regiões rurais (Ritchie; Roser; Rosado, 2022).

A questão política também tem desempenhado um papel significativo no desenvolvimento dos indicadores socioeconômicos do país. Com o autoritarismo e a longa permanência no poder, o governante de Guiné Equatorial, é visto como um dos mais corruptos do mundo, contribuindo para questões complexas de governança, como a concentração de poder e transparência, além da gestão questionável dos recursos do setor petrolífero (Paiva *et al.*, 2023). A instabilidade política e as restrições à participação democrática também têm impedido a implementação eficaz de reformas que poderiam impulsionar o desenvolvimento sustentável, afetando negativamente a distribuição equitativa dos benefícios do desenvolvimento no país.

Do ponto de vista eletroenergético, Guiné Equatorial ainda é muito dependente de fontes não renováveis de energia (Ecuatorial, 2022). A geração de eletricidade é predominantemente por meio de fontes térmicas, com foco em combustíveis fósseis, especialmente gás natural e óleo diesel, conforme evidenciado na Tabela 12. Principalmente, devido a má gestão e a utilização de equipamentos de geração antigos, ocorreram no país apagões prolongados de energia, fazendo com que as empresas utilizem pequenos geradores movidos a gasolina e diesel como fontes de energia de reserva. Portanto, apenas 34,75% da produção de eletricidade é proveniente de fontes de energias renováveis, principalmente, através de centrais hidroelétricas, conforme mostrado na Figura 24. O potencial de energia solar e eólica, no país, ainda permanece em grande parte não utilizado (Undp, 2016). Portanto,

Guiné Equatorial tem enfrentado desafios em termos de diversificação de sua matriz energética e na expansão do acesso à eletricidade em todo o seu território.

No entanto, os esforços para promover fontes de energia mais sustentáveis, como a energia renovável, têm sido mencionados como parte das iniciativas para abordar as preocupações ambientais e melhorar a segurança energética na Guiné Equatorial. Neste contexto, projetos de energia solar e eólica, aproveitando os recursos naturais abundantes no país, são a principal aposta do governo (Bank, 2018). Além disso, o país pretende desenvolver e adotar uma lei a respeito da energia; aproveitar o potencial hidroelétrico do Rio Wele, resultando em toda a eletrificação da Região Continental; reforma das centrais hidroelétricas de Musola (0,4-0,5 MW) e Riaba (3,8 MW), visando o abastecimento de energia elétrica para toda a Ilha de Bioko e Bikomo na Região Continental (3,2 MW); e considerar os projetos eólicos, solares e/ou de marés para integrar as ilhas remotas do país (Programme, 2016).

De acordo com (Forbes, 2021), através das medidas políticas a serem implementadas no país, a Guiné Equatorial prepara-se para ser um centro regional de energia no continente Africano. De acordo com a Câmara de Energia Africana (AEC), o país está progressivamente direcionado ao desenvolvimento de iniciativas no âmbito energético, com a intenção de abordar os desafios associados à segurança energética e estabelecer-se como um centro regional de gás natural.

Visando a renovação do PNDES (horizonte 2020) o governo lançou a Agenda Guiné Equatorial 2035, baseando-se em quatro eixos estratégicos: (i) Erradicação da Pobreza; (ii) Inclusão Social e Paz Sustentável; (iii) Produtividade e Industrialização; e (iv) Sustentabilidade Ambiental e Desenvolvimento Territorial. Neste novo plano, o governo assegura uma contribuição eficiente e integrada de todas as fontes de energia que constituem a matriz energética da Guiné Equatorial para o desenvolvimento sustentável do país, promovendo uma intervenção crescente da energia proveniente dos recursos naturais renováveis e da autossuficiência do setor energético nacional, garantindo o suprimento seguro e permanente de energia, para satisfazer a diversificação econômica competitiva, confiável e conservação da natureza (Equatorial, 2023).

Portanto, Guiné Equatorial necessita diversificar sua matriz energética, investindo significativamente em fontes renováveis, como energia solar e eólica, que são fontes promissoras no país (Bank, 2018). Tal medida, não só está presente no planejamento estratégico do governo para os próximos anos (Equatorial, 2023), como também reduzirá a dependência das fontes de energia convencionais e promoverá a transformação energética no país.

Figura 24 – Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Guiné Equatorial.



Fonte: (Irena, 2023a).

Tabela 12 – Perfil da geração de eletricidade em Guiné Equatorial.

Geração de Eletricidade em 2021	Guiné Equatorial	
	GWh	%
Não-renováveis	937	88
Renováveis	127	12
Hidro e Marinha	127	12
Solar	0	0
Eólica	0	0
Bioenergia	0	0
Geotérmica	0	0
Total	1.064	100

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados do *website* da (Irena, 2023a), para o ano de 2021.

Vale destacar que algumas medidas são importantes para que a Guiné Equatorial alcance os resultados esperados para 2035 como, por exemplo, parcerias internacionais e atração de investimentos externos, implementação de políticas regulatórias claras e conscientização pública sobre a importância da transição energética. O país ainda enfrenta

diversos obstáculos para atingir seu crescimento socioeconômico, apesar da sua riqueza em recursos naturais, especialmente petróleo. A dependência excessiva desse setor torna a economia vulnerável às flutuações nos preços deste produto, expondo-a a riscos significativos (Equatorial, 2023). A má governança do país na gestão dos recursos petrolíferos, associada à falta de diversificação econômica, corrupção e transparência têm prejudicado a eficácia na utilização desses recursos para promover o desenvolvimento sustentável e, conseqüentemente, contribui para desigualdades sociais e econômicas.

Neste sentido, o governo tem investido no desenvolvimento verde, reafirmando o seu compromisso com a luta contra as mudanças climáticas e a proteção do meio ambiente. Segundo o *Why África*, uma plataforma de notícias sobre o continente, a Guiné Equatorial, por meio do desenvolvimento verde, apoiado por um modelo ecológico focado em uma melhor gestão florestal, visa garantir que o desenvolvimento de energia em todo o país não apenas se cumpra, mas também promova o desenvolvimento verde por meio de um fornecimento de energia alternativa para o país (Forbes, 2021). Segundo *African Economic Outlook 2023* (Bank; Oecd; Undp, 2023), a necessidade estimada de financiamento climático entre os anos de 2020-30 é de cerca de 6,7 bilhões de dólares, ou 620 milhões de dólares por ano, para a Guiné Equatorial.

No entanto, a prevalência da pobreza evidencia a necessidade de desenvolver abordagens que promovam a adaptação da população às mudanças climáticas. Os desafios colocados pelo excesso de aproveitamento de madeira ilegal e pela exploração petrolífera insustentável demonstram a importância de tomar medidas mitigadoras. O governo aprovou um Plano Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas, o qual prioriza a resiliência dos ecossistemas e comunidades, porém ainda com resultados incipientes (Desenvolvimento, 2022). Portanto, é extremamente necessário combinar a adaptação climática com a implementação de ações como agricultura sustentável de alta produtividade; desenvolvimento de negócios comunitários e modelos de gestão de terras nas aldeias; geração e utilização de energias renováveis; entre outras (Bank, 2018).

2.1.6 Portugal

Portugal, oficialmente República Portuguesa, é um país soberano unitário localizado no sudoeste da Europa, conforme mostrado na Figura 25, cujo território se situa na zona ocidental da Península Ibérica e em arquipélagos no Atlântico Norte. O território português tem uma área total de 92.090 *km*, sendo delimitado ao norte e leste pela Espanha e ao sul e oeste pelo oceano Atlântico, compreendendo uma parte continental e duas regiões autônomas: os arquipélagos dos Açores e da Madeira. Sendo o único país europeu de língua portuguesa, é a nação mais a ocidente do continente (Cia, 2023).

Figura 25 – Mapa com a localização geográfica de Portugal.



Fonte: (Cia, 2023).

Após o seu apogeu como potência marítima global durante os séculos XV e XVI, Portugal perdeu muito da sua riqueza com a destruição de Lisboa no terremoto de 1755, a ocupação durante as Guerras Napoleônicas e a independência do Brasil, sua colônia mais rica, em 1822. Uma revolução de 1910 depôs a monarquia e, durante a maior parte das seis décadas seguintes, governos repressivos governaram o país. Em 1974, um golpe militar de esquerda instalou amplas reformas democráticas. No ano seguinte, Portugal concedeu a independência a todas as suas colônias africanas. Portugal é membro fundador da NATO - do inglês, *North Atlantic Treaty Organization* ou, do português Organização Tratado do Atlântico Norte, OTAN - e entrou na União Europeia (UE) em 1986 (Cia, 2023).

Do ponto de vista econômico, o país tornou-se uma economia diversificada e, cada vez mais baseada em serviços, desde a adesão à Comunidade Europeia - a antecessora da UE - em 1986 (Pinho, 2010). Nas duas décadas seguintes, sucessivos governos privatizaram muitas empresas controladas pelo Estado e liberalizaram áreas-chave da economia, incluindo as financeiras e setores de telecomunicações. O país aderiu à União Econômica e Monetária em 1999 e começou a circular o euro em 1 de janeiro de 2002, juntamente com 11 outros membros (Europeia, 2023a).

A economia cresceu mais do que a média da UE durante grande parte da década de 1990. Após a crise financeira global de 2008, a economia portuguesa contraiu-se em 2009 e entrou em recessão de 2011 a 2013, com o governo implementando cortes de despesas e aumentos de impostos para cumprir as condições de um pacote de resgate financeiro UE-FMI, assinado em maio de 2011 (Santos, 2012). Portugal saiu com sucesso de seu programa UE-FMI em maio de 2014, e sua recuperação econômica ganhou força em 2015 devido às fortes exportações e uma recuperação do consumo privado. O crescimento do PIB acelerou em 2016 e atingiu cerca de 2,6% em 2017. O desemprego permaneceu alto, com o índice de 8,9% em 2017, mas melhorou de forma constante desde o pico no ano de

2013, segundo o Boletim Econômico do Banco de Portugal (Portugal, 2023).

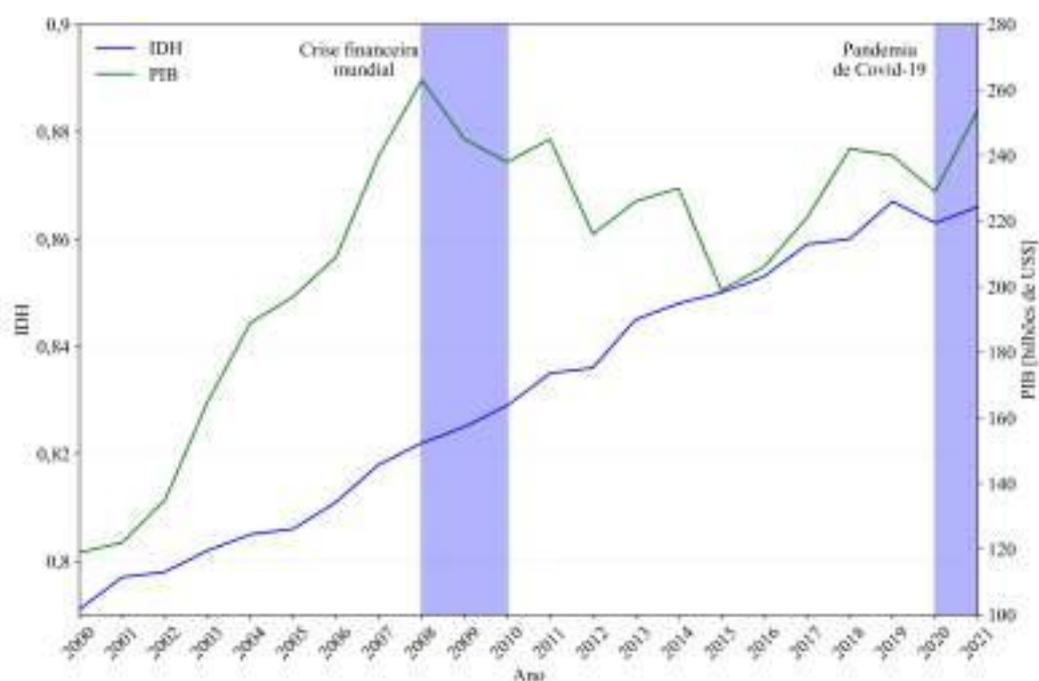
Entre os anos de 2015 à 2019, o crescimento econômico foi de 2,8% ao ano. Incluindo os anos de 2020 e 2021, com a contração provocada pela pandemia, desde 2016, a economia cresceu em média 2% ao ano (10 vezes mais do que a média anual dos 15 anos anteriores), tendo sido o segundo país da União Europeia que mais cresceu em 2022 (Portuguesa, 2023a).

Portugal está entre as 50 maiores economias do mundo e encontrava-se até 2020 com perspectiva positiva de crescimento. O choque econômico decorrente da crise causada pela pandemia do Covid-19 colocou um obstáculo nesta tendência, provocando uma queda acentuada da atividade. No entanto, devido as campanhas de vacinação e as políticas públicas de apoio, as previsões macroeconômicas apontam para a recuperação da economia nacional, que deverá atingir o nível de produto pré-pandemia, segundo dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (Portugal no Brasil, 2023). Ainda de acordo com as projeções da OCDE, para os anos de 2022 e 2023, respectivamente, Portugal registraria um crescimento real do PIB de 6,7% e 1% (Portugal, 2023).

A Figura 26 apresenta a projeção do PIB (US\$ Atual) e do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) em Portugal. Observa-se que o PIB de Portugal teve um crescimento expressivo até o ano de 2008, remetendo a crise financeira mundial que foi responsável pela tendência de decaimento e o período de recessão de 2011 a 2013. Embora na última década tenha apresentado variações, nota-se que no período compreendido pelos anos 2020-2021, o PIB apresentou uma tendência de retorno ao patamar apresentado na pré-crise de 2008, representando a retomada da economia portuguesa. Ao mesmo tempo, verifica-se a tendência de crescimento expressivo do IDH no país, indicando que os melhores índices de desenvolvimento humano estão diretamente correlacionados ao crescimento econômico.

No ano de 2020, a crise relacionada a pandemia de Covid-19, determinou uma queda sem precedentes no PIB de Portugal, principalmente na primeira metade do ano, devido as medidas de contenção da crise de saúde pública e a atitude de precaução dos agentes econômicos (Portugal, 2023). Porém, o país tem se beneficiado dos fundos e programas da União Europeia, que desempenham um papel significativo em suas políticas de desenvolvimento e na mitigação dos impactos econômicos como, por exemplo, o *NextGenerationEU* (Europeia, 2023b). A implementação eficaz desses recursos, juntamente com estratégias para diversificação econômica e enfrentamento de desafios estruturais, continuará sendo crucial para a resiliência econômica de Portugal.

Figura 26 – Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em Portugal.



Fonte: Elaborado pelo autor com os dados extraídos do (Bank, 2023e).

O Banco de Portugal e o Instituto Nacional de Estatística divulgaram as séries longas para a economia desde o final da década de 40 do século passado. Os dados confirmam que as últimas décadas foram de menor crescimento, ou seja, nos últimos 20 anos, entre 2000 e 2020, o crescimento médio anual do PIB real per capita foi de apenas 0,3%, conforme corroborado na Figura 5. Este valor está muito influenciado pelos efeitos da pandemia em 2020 – excluindo que este ano o crescimento médio foi de 0,8%, representando uma longa estagnação da economia em Portugal (Portugal, 2021).

Apesar de enfrentar alguns períodos de recessão econômica e manter o crescimento do PIB estável, o desenvolvimento humano no país segue uma tendência de crescimento ao longo dos anos, conforme notado na Figura 26. Os aspectos sociais em Portugal refletem uma mistura complexa de tradição, modernidade e adaptação às mudanças globais. Alguns desafios sociais são enfrentados pelo país como, por exemplo, o envelhecimento da população e baixas taxas de natalidade, o que impacta diretamente na previdência social. O setor da educação e da saúde, são prioridade para investimentos no país. Apesar de Portugal ter uma forte tradição acadêmica, com várias instituições de ensino superior reconhecidas internacionalmente, algumas regiões do país não tem acesso à educação. Em relação, ao setor da saúde, principalmente após à pandemia de Covid-19, a qualidade dos serviços estão sendo aprimoradas e o governo tem buscado melhorias relacionadas a eficiência do sistema. Apesar dos progressos, questões sociais como desigualdade de renda, desemprego

e acesso equitativo aos serviços ainda são enfrentados no país (Carrapatoso, 2021).

A União Europeia tem como prioridade a pauta da descarbonização, neste sentido, surgiram diversos pacotes estratégicos da Comissão Europeia que visam dar respostas nas diferentes áreas a este desafio global. Os principais instrumentos neste âmbito são o Roteiro para a Neutralidade Carbônica 2050 (RNC2050) e o Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC), ao nível da mitigação (Clima, 2023). Neste contexto, Portugal tem-se comprometido a assegurar a neutralidade das suas emissões até 2050. Para tal, foi desenvolvido e aprovado o Roteiro para a Neutralidade Carbônica 2050 (RNC2050) e o Plano Nacional Energia e Clima para 2021-2030 (PNEC 2030) para o país, alinhados com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas (Group, 2022).

Segundo (Clima, 2023), o PNEC 2030 estabelece metas ambiciosas para Portugal no horizonte 2030 de redução de emissões de gases com efeito de estufa (45% a 55%, em relação a 2005), de incorporação de energias renováveis (47%), de eficiência energética (35%), interligações (15%), segurança energética, mercado interno, investigação, inovação e competitividade. Em termos setoriais, estabelece metas de redução de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE): 70 % nos serviços; 35% no setor residencial; 40% nos transportes; 11% na agricultura; e 30% no setor dos resíduos e águas residuais.

Do ponto de vista econômico, o setor da indústria, no passado decisiva para o desenvolvimento econômico e social europeu, foi perdendo relevância com o desenvolvimento do setor dos serviços. Em Portugal, a indústria transformadora passou de 18,1% do PIB em 1995, para 13,5% em 2019, abaixo dos 16,5% da média europeia no mesmo ano (Portugal no Brasil, 2023). Assim, atualmente, a indústria é percebida como uma área prioritária para a recuperação e modernização econômica nacional, parte de uma transição verde e digital, nos termos do Plano de Recuperação e Resiliência (Portuguesa, 2023b), aprovado pela Comissão Europeia.

O Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) é um programa que visa implementar um conjunto de reformas e de investimentos destinados a impulsionar a economia de Portugal, através da convergência com a Europa ao longo da próxima década, tendo como orientação um conceito de sustentabilidade inspirado nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas (Portuguesa, 2023b). Tal plano, com execução prevista até 2026, se baseia em uma industrialização nacional em um contexto internacional de descarbonização, com investimento em hidrogênio limpo, relacionado ao Pacto Ecológico Europeu e ao Acordo de Paris. A industrialização nacional terá destaque, garantindo uma melhoria sustentável do nível de vida da população. Esta necessidade tornou-se evidente durante a crise pandêmica, como pilar essencial de uma economia resiliente que reduza a sua dependência face ao exterior e exposição a riscos de novas disrupções de cadeias de valor.

Por fim, a Tabela 13 mostra os indicadores apresentados anteriormente em valores

quantitativos para Portugal, que serão utilizados para o cálculo e proposição do novo índice para a análise dos países selecionados. Nas próximas seções serão detalhados tais indicadores selecionados e como estes se comportam e se relacionam ao longo dos últimos anos.

Tabela 13 – Valores dos indicadores para o país Portugal.

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	0,863
Acesso à eletricidade	100%
Geração de Energia	51,54 <i>TWh</i>
Produção de eletricidade a partir de Energias Renováveis	58,42%
Capacidade de Geração Instalada	22.400 <i>MW</i>

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados de (Undp, 2023; Cia, 2023; Ritchie; Roser; Rosado, 2022), relativos ao ano de 2020.

Assim, a Tabela 13 reúne os principais indicadores relacionados aos aspectos sociais e eletroenergéticos, e Portugal possui um desempenho satisfatório, se destacando com um IDH classificado como muito alto e com sua população tendo acesso à 100% da eletricidade. Com isso, dentre os países estudados da CPLP, Portugal pode ser considerado como o país mais desenvolvido, tanto do ponto de vista de constituição enquanto nação, aspectos políticos e econômicos, quanto sociais e humano.

Porém, o país ainda enfrenta alguns desafios com relação ao setor elétrico. A dependência significativa de importações de eletricidade expõe o país a flutuações nos preços e na disponibilidade em mercados externos. A integração de fontes renováveis intermitentes, como solar e eólica, apresenta desafios em termos de estabilidade da rede e gestão eficaz da produção elétrica (Viana *et al.*, 2014). O armazenamento de energia é crucial para complementar a intermitência das fontes renováveis, exigindo o desenvolvimento de tecnologias específicas. A descentralização da produção, com maior participação de microgeração e comunidades energéticas, demanda ajustes em infraestrutura e políticas para garantir estabilidade e eficiência. A modernização da rede elétrica é essencial para a resiliência diante de eventos climáticos extremos e ciberameaças (Deloitte, 2023). Iniciativas de eficiência energética visam reduzir a demanda total e otimizar recursos. Além disso, a transição para a eletrificação em setores como transporte e aquecimento, requer investimentos e estratégias específicas para assegurar uma transição suave e sustentável. Estes desafios refletem a complexidade da busca por um sistema energético mais robusto, eficiente e alinhado com princípios sustentáveis (Jesus, 2011).

O enfrentamento à estes desafios requer uma abordagem holística, envolvendo políticas públicas, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, parcerias público-privadas e a participação ativa da sociedade na promoção de práticas mais sustentáveis.

Segundo a Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN), a maior utilização dos recursos endógenos e renováveis portugueses para a produção de eletricidade

tem alterado a composição do mix de produção de eletricidade em Portugal e tem, consecutivamente, desempenhado um papel cada vez mais determinante na satisfação do consumo (Renováveis, 2023). Além disso, segundo o estudo realizado pela Deloitte, sobre o impacto da eletricidade de origem renovável em Portugal, a potência instalada não renovável tem diminuído desde o ano de 2018, com destaque para a diminuição de 1,3 *GW* em 2021, proveniente do encerramento das centrais a carvão e da redução da potência proveniente das restantes fontes não renováveis no país. Em sentido inverso, a potência renovável apresentou um crescimento médio anual de 4,8%, o que se traduziu num aumento global de 24% nos 5 anos em análise na pesquisa (Deloitte, 2023).

Efetivamente, em termos de potência instalada renovável, destacou-se o aumento proveniente principalmente da potência hídrica, eólica e solar, conforme mostrado na Tabela 14. No total, a potência instalada renovável em Portugal atingiu 17.325 *MW*, o que representou uma evolução positiva, tendo em consideração a meta da atualização do PNEC 2030 para 2025 – 18,9 *GW*. A tecnologia hídrica suportou, em média, cerca de metade da potência instalada (Deloitte, 2023).

Ainda, de acordo com (Deloitte, 2023), as tecnologias hídrica e eólica foram as que mais contribuíram na produção a partir de renováveis entre 2018 e 2022. Porém, os valores normalizados para a produção bruta e saldo importador ainda estão aquém das metas previstas no PNEC 2030, para o país. A Figura 27 mostra a tendência de capacidade instalada de eletricidade em Portugal, corroborando a importância das fontes renováveis de energia, com destaque para a hidráulica, eólica e solar.

Portanto, Portugal tem investido consideravelmente em fontes renováveis, como solar, eólica, hidrelétrica e biomassa. A energia eólica desempenha um papel significativo na matriz elétrica portuguesa, com a instalação de parques eólicos terrestres e marítimos. A energia solar tem crescido em importância, com a implementação de projetos de grande escala e a adoção de sistemas de geração solar distribuída. Embora Portugal tenha recursos hidrelétricos limitados, as usinas hidrelétricas ainda contribuem para a produção de eletricidade, especialmente em anos de boa precipitação (Gonçalves; Leão, 2020).

A interconexão elétrica com outros países europeus permite a exportação e importação de eletricidade, proporcionando uma maior flexibilidade e estabilidade à matriz elétrica do país. A busca por uma matriz elétrica mais sustentável e resiliente é uma prioridade para Portugal, alinhada com metas ambientais e o compromisso com a transição energética (Gonçalves; Leão, 2020; Deloitte, 2023).

Figura 27 – Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Portugal.



Fonte: (Irena, 2023a).

Tabela 14 – Perfil da geração de eletricidade em Portugal.

Geração de Eletricidade em 2021	Portugal	
	GWh	%
Não-renováveis	19.438	38
Renováveis	31.541	62
Hidro e Marinha	11.908	23
Solar	2.237	4
Eólica	13.216	26
Bioenergia	4.003	8
Geotérmica	179	0
Total	50.980	100

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados do *website* da (Irena, 2023a), para o ano de 2021.

Em alinhamento com a tendência europeia, Portugal está em meio a uma transição energética crucial, destacando-se o papel preponderante das energias renováveis. Essa mudança, centrada na descarbonização da economia e, por conseguinte, do setor elétrico, fundamenta-se na ampla incorporação de fontes renováveis de energia. Nesse contexto,

uma avaliação cuidadosa das tecnologias existentes e emergentes é imprescindível para contribuir de maneira equilibrada e sustentável para a descarbonização do sistema energético. Contudo, mais relevante do que as medidas em tecnologias específicas é a integração coesa dessas soluções em todo o sistema energético do país (Gonçalves; Leão, 2020).

O atual cenário da energia em Portugal teve o seu início no final do século XX e evidenciou uma profunda alteração no sistema energético, principalmente no setor elétrico, sobretudo devido à importância das centrais eólicas. A perspectiva no país é que se promova um grande investimento no aproveitamento em larga escala da energia solar fotovoltaica, ao mesmo tempo que outras tecnologias se tornam promissoras e competitivas, como é o caso da energia solar de concentração ou mesmo da energia eólica *offshore*. Para além destas fontes renováveis, a biomassa também constitui um importante recurso (Irena, 2023a). Adicionalmente, os consumidores começam a assumir um papel ativo, na qual a opção pelo veículo elétrico e pelo armazenamento (elétrico e térmico), terá um papel instrumental na gestão de um futuro sistema elétrico, tendencialmente 100% renovável (Gonçalves; Leão, 2020).

Do ponto de vista regulatório do setor elétrico, Portugal tem avançado significativamente, demonstrando um compromisso com a sustentabilidade e a transição energética. O país tem incentivado fortemente o uso de energias renováveis, implementando leilões e estabelecendo metas ambiciosas para sua participação na matriz elétrica. Além disso, regulamentações foram introduzidas para promover a produção descentralizada, permitindo o autoconsumo e estimulando a instalação de sistemas de geração distribuída, como painéis solares. A interligação com outros países europeus, a modernização da infraestrutura elétrica, incentivos à inovação e ao armazenamento de energia refletem o compromisso com a eficiência e a adaptação a um cenário de transição. Tais medidas, combinadas com a regulação de preços e condições de mercado, buscam garantir um setor elétrico robusto, competitivo e alinhado aos objetivos ambientais de longo prazo. Por fim, o PRR está alinhado com os seis pilares relevantes da estratégia europeia para 2030, pautadas principalmente nos princípios, da resiliência e da transição climática e digital (Portuguesa, 2023b):

1. Transição verde;
2. Transformação digital;
3. Crescimento inteligente, sustentável e inclusivo, com coesão econômica, emprego, produtividade, competitividade, investigação, desenvolvimento e inovação, bem como um mercado único em bom funcionamento com pequenas e médias empresas (PME) fortes;
4. Coesão social e territorial;

5. Saúde e resiliência econômica, social e institucional, inclusive com vista ao aumento da capacidade de reação e preparação para crises;
6. Políticas para a próxima geração, crianças e jovens, incluindo educação e competências.

Portugal é um dos líderes em energia limpa na Europa, como mostrado na Tabela 14, atualmente obtém cerca de 60% da sua eletricidade a partir de fontes renováveis, uma das maiores proporções de uso de energia verde na Europa. Ademais, o governo português pretende atingir 80% de energia limpa na produção de eletricidade para 2026, quatro anos antes do planejado previamente. Os planos, voltados para a transição energética, devem resultar em mais de 25 bilhões de euros de investimento privado e público nos próximos 10 anos. O país também é um dos primeiros do mundo a se comprometer a se tornar neutro em carbono até 2050. Vale destacar que em 2004, Portugal consumia 19,2% de energia de fontes limpas e em 2010 esse percentual já era de 41%, com uma matriz elétrica limpa, com alta capacidade para o uso de energias renováveis (Bridge, 2022).

2.1.7 Moçambique

Moçambique, ou República de Moçambique, é uma nação situada no Sudeste da África, na fronteira com o Canal de Moçambique, entre a África do Sul e a Tanzânia, com uma área de 801.590 km^2 , conforme mostrado na Figura 28. Sua capital é Maputo e sua moeda é o metical (MZM). Tem como língua oficial o Português, de acordo com a Constituição de 2004, que também identifica e protege diversas outras línguas tradicionais nacionais.

Figura 28 – Mapa com a localização geográfica de Moçambique.



Fonte: (Cia, 2023).

As cidades portuárias no norte de Moçambique eram muito frequentadas por comerciantes das regiões da Somália, Etiópia, Egito, Arábia, Pérsia e Índia, na primeira

metade do segundo milênio. Portanto, Portugal dominou a região do comércio costeiro nos séculos posteriores a 1500 e estabeleceu as suas próprias colônias. Portugal colonizou Moçambique até 1975. A emigração em grande escala, a dependência econômica da África do Sul, uma seca severa e uma guerra civil prolongada impediram o desenvolvimento do país até meados da década de 1990. O partido no poder, Frente de Libertação de Moçambique (FRELIMO), abandonou formalmente o marxismo em 1989, e uma nova constituição no ano seguinte previa eleições multipartidárias e uma economia de mercado livre. Um acordo de paz negociado pela ONU entre a FRELIMO e as forças rebeldes da Resistência Nacional de Moçambique (RENAMO) pôs fim aos combates em 1992 (Cia, 2023).

Em 2004, Moçambique passou por uma transição delicada com a saída de Joaquim Chissano, após 18 anos no poder, sendo sucedido por Armando Guebuza, que exerceu dois mandatos antes de transferir o poder executivo para Filipe Nyusi, em 2015. Após 2012, as forças armadas residuais da RENAMO participaram de uma nova rebelião contra FRELIMO, com esparsos episódios de ataques armados. No entanto, um cessar-fogo em dezembro de 2016, levou à assinatura de um abrangente acordo de paz, no ano de 2019. As eleições de outubro de 2019, foram controversas, sendo contestadas pelo ocidente e pela sociedade civil, devido a diversos problemas relacionados à transparência e legitimidade. Apesar disso, Filipe Nyusi (FRELIMO) conquistou vitórias expressivas em todo o país e acabou sendo reeleito, governando o país até os tempos atuais. Desde outubro de 2017, extremistas violentos têm praticado ataques contra civis e serviços de segurança na região norte de Moçambique (província de Cabo Delgado). Esses ataques têm gerado deslocamentos populacionais, instabilidade e desafios significativos para as autoridades moçambicanas. Como resposta, o governo mobilizou, no ano de 2021, esforços internacionais, incluindo a mobilização de forças regionais, como Ruanda e a Comunidade de Desenvolvimento da África Austral, visando conter essa ameaça (Cia, 2023).

Portanto, a realidade política de Moçambique é complexa, englobando mudanças de liderança, acordos de paz, eleições contestadas e desafios persistentes, como a insurgência em Cabo Delgado, que continua exigindo atenção e esforços coordenados para impulsionar a estabilidade e o progresso no país. Temas como governança, corrupção e transparência permanecem como questões importantes na agenda política. Além disso, fatores cruciais, como desenvolvimento econômico e social, gestão de recursos naturais, distribuição de riqueza e acesso a serviços essenciais, frequentemente desempenham um papel significativo nas dinâmicas políticas moçambicanas.

Moçambique é um país rico em recursos naturais, incluindo reservas de gás natural, mármore, madeiras, carvão e minerais, o que confere oportunidades significativas para o desenvolvimento econômico. O setor agrícola é o de maior destaque no país, empregando a maior parte da população e atraindo investimentos na agro-indústria. Porém, alguns desafios são enfrentados dentro do setor, como a vulnerabilidade às mudanças climáticas e

a necessidade de modernização para aumentar a produtividade. Além disso, a maioria da população vive da agricultura de subsistência. O solo moçambicano é rico em ouro, sal, grafite e bauxite, mas ainda é pouco explorado. Projetos como o da Mozal, Barragem de Cahora Bassa, Corredores Ferro-Portuários e complexos turísticos ao longo de todo o País, têm contribuído significativamente para colocar Moçambique na rota dos grandes investimentos regionais e internacionais (Pereira, 2014).

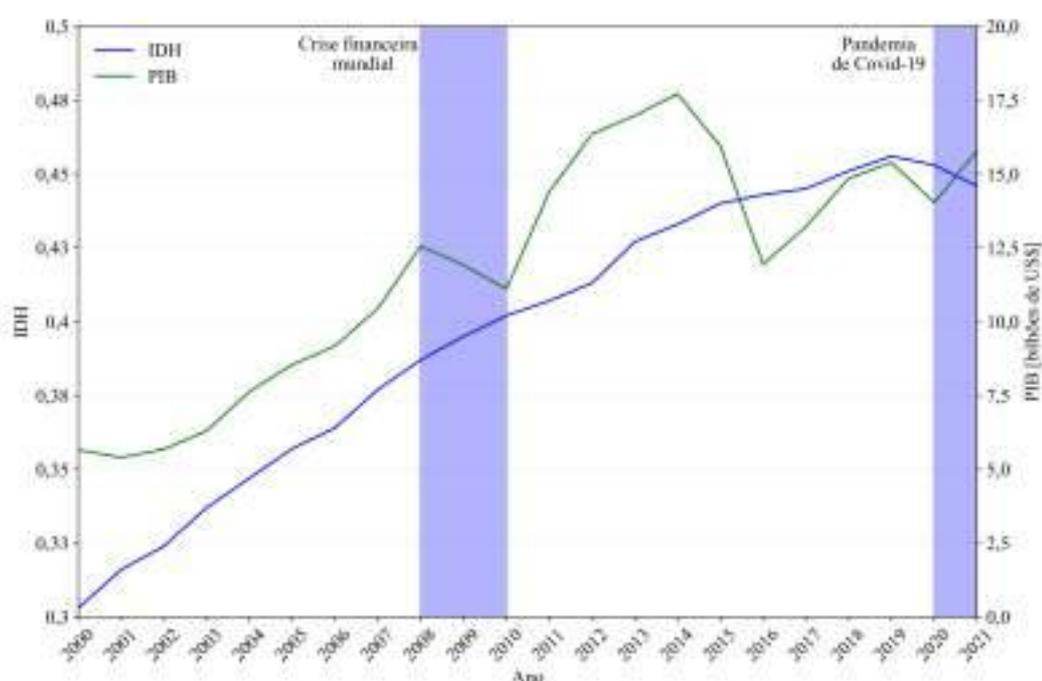
A gestão da dívida pública em Moçambique tem sido fonte de preocupação, com a ocorrência de empréstimos pouco transparentes, que deram origem a desafios financeiros significativos. Em 2020, a dívida pública moçambicana atingiu 92,2% do PIB. Em igual período, a dívida pública interna passou de 16,03% para 20,1% do PIB, já a dívida pública externa, passou de 64% do PIB (2019) para 72,2% (2020). De acordo com a avaliação do FMI, realizada em abril de 2020, Moçambique permanece em uma situação de sobre-endividamento, porém sustentável, devido ao crescimento projetado para as receitas públicas a partir de 2023, resultante da exploração dos projetos de gás natural, principalmente na região norte do país (Eurosistema, 2019). Diante desta realidade, o país tem procurado ativamente acordos de reestruturação da dívida como forma de aliviar as pressões financeiras.

A Figura 29 apresenta a projeção do PIB (US\$ Atual) e do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) em Moçambique. Nos últimos 22 anos, a economia moçambicana foi marcada por momentos de expansão e de crise, tendo, nos primeiros 15 anos do século XXI, sido considerada pelas instituições financeiras multilaterais como um caso de sucesso econômico, como se observa na Figura 6, principalmente devido às altas taxas de crescimento, com uma média anual de cerca de 7,5%, e às medidas prudentes na gestão de políticas macroeconômicas. A economia de Moçambique já fez parte da lista das 10 economias do mundo em crescimento acelerado há duas décadas, sendo um dos países preferenciais dos doadores e o destino de 10–15% do total dos fluxos de Investimento Direto Estrangeiro (IDE) na África Subsaariana (Gebregziabher; Sala, 2022). Entretanto, em 2016, as mesmas instituições financeiras, detectaram a existência de dívidas que não haviam sido previamente declaradas, dando início à uma crise financeira e institucional profunda na economia moçambicana (Valá, 2022).

A tendência de crescimento do país foi interrompida no último quinquênio (2015–2019), período em que a economia cresceu a uma média anual de 3,9%, atingindo o crescimento mais baixo desde 2000, quando, em 2019, registou o valor de 2,3% (Estatísticas, 2020). Esta desaceleração da economia refletiu as fragilidades estruturais do modelo econômico adotado, caracterizado pela excessiva dependência de fluxos externos de capitais sob a forma de ajuda externa, investimento direto estrangeiro e endividamento público. Além disso, o país teve sua situação econômica agravada, com a sucessão de novas crises sem precedentes, desde os eventos climáticos extremos (em 2017–2021), a pandemia da Covid-19 (em 2020–2022), a instabilidade político-militar na zona centro e de focos de terrorismo

em Cabo Delgado, a mais forte contração econômica dos últimos 30 anos (em 2020) e, por fim, o conflito entre a Rússia e a Ucrânia. Portanto, tais crises sucessivas arrastaram Moçambique para uma recessão econômica prolongada. A taxa de crescimento econômico baixou para metade, de 7,7%, no período 2000–2015, para 3,3%, no período 2016–2019, para ser de -1,3%, em 2020 (Valá, 2022). Essa redução drástica pode ser confirmada pela leitura do gráfico da Figura 5, contendo a tendência do crescimento do PIB entre 2000 e 2020.

Figura 29 – Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em Moçambique.



Fonte: Elaborado pelo autor com os dados extraídos do (Bank, 2023e).

Em síntese, a conjuntura econômica de Moçambique é delineada por desafios e potencialidades. Apesar do potencial para um crescimento significativo devido aos recursos naturais, são necessárias estratégias de investimento para promover um desenvolvimento econômico duradouro e inclusivo. A gestão eficaz dos recursos é crucial para garantir benefícios tanto para a economia quanto para o bem-estar da população.

Outro aspecto importante é a questão da infraestrutura em Moçambique. Apesar de ter registrado um desempenho positivo do PIB em anos anteriores, o país ainda carece de investimentos significativos em estradas, portos e energia para catalisar o crescimento econômico (Adelino, 2022). Ademais, enfrenta desafios substanciais relacionados à governança e à corrupção, elementos que têm o potencial de prejudicar a atração de investimentos estrangeiros (Pública, 2016).

Apesar de ser uma das economias com o crescimento mais rápido na África Sub-sariana no período de 2000-2015, a criação de emprego, a redução da pobreza e o desenvolvimento humano ainda são limitados. Com um índice de desenvolvimento humano de 0,45 (2020), correspondendo a níveis extremamente baixos de desenvolvimento humano, conforme mostrado na Figura 29. Os serviços básicos de educação e saúde são prestados de forma assimétrica em todo o país, gerando desigualdades, com mecanismos limitados para proteger os mais vulneráveis, dando origem a fragilidade, instabilidade e violência (Bank, 2023e). Observando o gráfico da Figura 4, o IDH de Moçambique é o mais baixo dentre todos os países da CPLP estudados neste trabalho, evidenciando a necessidade de investimentos em infraestrutura, educação, saúde e desenvolvimento econômico inclusivo, para impulsionar o país em direção a um desenvolvimento humano mais sustentável e equitativo.

Segundo dados do Banco Mundial em Moçambique, a taxa de pobreza nacional subiu de 48,4% para 62,8% entre os anos de 2014/15 e 2019/20. O número de pessoas consideradas pobres aumentou de 13,1 para 18,9 milhões, refletindo principalmente o impacto da Covid-19. Em relação à desigualdade, o Coeficiente de Gini - índice que tem como finalidade analisar o nível de igualdade ou desigualdade (grau de concentração de riqueza) de uma região ou país - caiu de 56,1 para 50,4 entre 2014/15 e 2019/20. Entretanto, nas zonas rurais, as condições voltaram aos níveis observados em 2002/03, com mais de 95% das famílias enquadradas na pobreza multidimensional. Os centros urbanos também verificaram um aumento acentuado da pobreza multidimensional, de 32% para 46% durante o mesmo período (Bank, 2023c).

Por fim, a Tabela 15 mostra os indicadores apresentados anteriormente em valores quantitativos para Moçambique, que serão utilizados para o cálculo e proposição do novo índice para a análise dos países selecionados. Nas próximas seções serão detalhados tais indicadores selecionados e como estes se comportam e se relacionam ao longo dos últimos anos.

Tabela 15 – Valores dos indicadores para o país Moçambique.

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	0,453
Acesso à eletricidade	30,6%
Geração de Energia	19,34 <i>TWh</i>
Produção de eletricidade a partir de Energias Renováveis	81,95%
Capacidade de Geração Instalada	2.765 <i>MW</i>

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados de (Undp, 2023; Cia, 2023; Ritchie; Roser; Rosado, 2022), relativos ao ano de 2020.

Em Moçambique, a maioria das atividades econômicas, incluindo a subsistência da população, depende do capital natural disponível, tanto para o abastecimento em comida (agricultura), turismo, mineração, energia, madeira, pescado, entre outros. O

capital natural, renovável e não renovável, representa cerca de 49% do total da riqueza do país. Como dito anteriormente, no limiar do Século XXI, o país confronta-se com novos desafios relacionados com a descoberta de enormes reservas de gás natural, petróleo e minérios, transformando-se em polo de atração das grandes multinacionais mundiais. Neste contexto, o país se coloca em um dilema, entre o potencial de exploração de recursos não renováveis (reservas de carvão mineral, gás e petróleo), o que impulsionaria o seu desenvolvimento econômico *versus* e a transição energética, devido a crescente necessidade de descarbonização mundial e o desenvolvimento de políticas ambientais voltadas para o uso de energias renováveis (Ndapassoa, 2022).

De acordo com a Tabela 15, Moçambique utiliza cerca de 82,01% de fontes de energia renováveis, corroborado na Figura 30, na qual nota-se que a tendência de capacidade instalada de eletricidade no país é predominantemente renovável, com destaque para as fontes hidráulicas e solar. Além disso, Moçambique é rico em fontes de energia e emergiu como um centro energético regional na África. Em 2019, Moçambique possuía 7,5 GW de potencial de energia renovável, incluindo 5,6 GW de energia hídrica, 1,1 GW de energia eólica e 0,6 GW de energia solar. Por outro lado, as reservas de gás natural e carvão, são suficientemente grandes para serem utilizadas simultaneamente para exportações, grande indústria e geração de energia interna. Portanto, devido aos seus vastos recursos energéticos, Moçambique está bem posicionado para participar de um comércio regional significativo, principalmente com a África do Sul, que é o maior comprador de eletricidade do país (Association, 2019). Atualmente, a geração de eletricidade em Moçambique é constituída em grande parte por energia hídrica (85%) e não renováveis/térmicas (15%) – sinalizando uma contribuição substancial de energia renovável de base (Irena, 2023a), conforme a Tabela 16.

O governo moçambicano tem demonstrado interesse em promover o uso dessas fontes de energia renovável, tanto para expandir o acesso à eletricidade no país, principalmente nas áreas rurais, quanto para impulsionar o desenvolvimento industrial e econômico. Projetos e iniciativas estão em andamento para desenvolver parques solares, parques eólicos e pequenas centrais hidrelétricas em todo o país, o que contribui amplamente para o desenvolvimento das pequenas comunidades e para a diversificação da matriz energética. Por outro lado, a complementaridade hidrossolar tem um impacto importante no desenvolvimento sustentável de Moçambique (Fortes; Beirão; Mamudo, 2022).

Apesar do destaque no uso das fontes renováveis de energia, Moçambique ainda enfrenta diversos desafios relacionados ao acesso da população à eletricidade, segundo (Ritchie; Roser; Rosado, 2022) apenas 30,6% conseguem utilizar energia elétrica no país, conforme mostra a Tabela 15. Ademais, segundo o Relatório do Progresso Energético de 2023, publicado pela ONU, Moçambique está entre os 20 países com o maior déficit de acesso à energia no mundo, com cerca de 22 dos 30 milhões de habitantes sem eletricidade (Onu, 2023). Portanto, com relação ao acesso à eletricidade Moçambique é o país que

apresenta o pior desempenho dentre todos os países da CPLP estudados neste trabalho, conforme a Figura 7.

Neste contexto, ainda existem desafios a serem superados no setor energético, incluindo questões de financiamento, infraestrutura de transmissão e distribuição, bem como a necessidade de políticas e regulamentações claras e favoráveis ao desenvolvimento das energias renováveis. É importante garantir que esses projetos sejam implementados de forma sustentável, levando em consideração os impactos ambientais e sociais, tendo em vista a transição energética. Assim, foi implementada uma estratégia, pela Eletricidade de Moçambique (EDM), como uma ação para impulsionar o seu crescimento, e melhorar a presença do mercado energético moçambicano na região da África Austral. A estratégia aborda três prioridades principais: (i) Conseguir o acesso universal à eletricidade em Moçambique; (ii) Conduzir Moçambique para se tornar um centro energético da África Austral e (iii) Assegurar o desenvolvimento de mão-de-obra sustentável no setor da energia. Esta estratégia propôs a criação de um novo instrumento político denominado "Conta de Eletrificação", o qual servirá como subsídio no caso das atuais tarifas de eletricidade não serem suficientes para financiar os objetivos de eletrificação (Moçambique, 2018).

Apesar de ser um dos países que menos contribuem para as emissões de GEE, Moçambique está entre os 10 países mais afetados pelas mudanças climáticas. Na Conferência das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas de 2021, Moçambique estabeleceu a meta de reduzir as emissões, sendo a mais alta prioridade para garantir um caminho de longo prazo para o crescimento verde. As necessidades do país para 2020–30 totalizam 53 bilhões de dólares, bem acima dos 3,7 bilhões de dólares mobilizados ao longo de 2011–20 e cerca de três vezes o seu PIB. A Estratégia Nacional de Adaptação e Mitigação das Mudanças Climáticas de Moçambique 2013-2025 é o primeiro instrumento abrangente para abordar a temática. Dada a lacuna financeira, é fundamental que o governo busque o investimento privado, voltado à energia de baixo carbono, agricultura, infra-estruturas e regimes de seguros resilientes às mudanças climáticas. Para mobilizar recursos de forma mais eficiente, o país deve capacitar as instituições nacionais aos padrões internacionais para acessar financiamentos climáticos. Para isto, o país necessita promover um ambiente de investimento mais atraente, especialmente para pequenas barragens hidroelétricas, parques eólicos e solares (Bank; Oecd; Undp, 2023).

Figura 30 – Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Moçambique.



Fonte: (Irena, 2023a).

Tabela 16 – Perfil da geração de eletricidade em Moçambique.

Geração de Eletricidade em 2021	Moçambique	
	GWh	%
Não-renováveis	2.858	15
Renováveis	15.603	85
Hidro e Marinha	15.477	84
Solar	71	0
Eólica	0	0
Bioenergia	55	0
Geotérmica	0	0
Total	18.461	100

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados do *website* da (Irena, 2023a), para o ano de 2021.

O governo moçambicano tem lançado estratégias e políticas nacionais para melhorar o acesso à energia, como dito anteriormente, e o objetivo central é alcançar o acesso à energia em todo o país até 2030. O Plano Diretor do Setor Energético Integrado é a principal política, visando aumentar a capacidade instalada para 6.001 MW até 2030 e

20% de integração das energias renováveis na rede. A abordagem institucional, financeira e técnica para alcançar estes objetivos é definida pela Estratégia Nacional de Eletrificação (ENE). Empresa pública moçambicana, a EDM desenvolveu também uma estratégia (frequentemente referida como a Estratégia de Eletrificação Rural) para assegurar o desenvolvimento do setor energético em Moçambique e impulsionar o seu crescimento como um mercado importante na região da África Austral. Tais iniciativas baseiam-se nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU (Moçambique, 2018).

Em um país com tantas limitações relacionadas ao desenvolvimento humano e social, além de uma baixa infraestrutura para o acesso à eletricidade, a discussão sobre transição energética se torna ainda incipiente. Grande parte da população do país se mostra preocupada com o custo das energias renováveis, manifestando dúvidas sobre a viabilidade de uma transição energética no país. No caso de Moçambique, a estratégia para a transição energética também passa pela exploração do gás natural, mas esta abordagem tem como limitação as características da indústria extrativa que produz poucas oportunidades de desenvolvimento local e tem o potencial de produzir impactos ambientais e sociais nefastos (Castel-branco *et al.*, 2022).

Portanto, no caso de Moçambique, qualquer entendimento ou estratégia para um engajamento público visando uma transição energética deve considerar os níveis de abertura do espaço cívico, das capacidades dos cidadãos, das organizações da sociedade civil e de pobreza energética nas regiões de extração de recursos naturais. Em regiões como o Norte do país, nas quais os níveis são baixos de cobertura da rede de energia elétrica, combinado com múltiplas formas de pobreza, os cidadãos colocam os problemas associados à transição energética em segundo plano, em favor das necessidades relativas ao desenvolvimento local. As estratégias com maior nível de sucesso, para o engajamento público na pauta da transição energética, reconhecem a necessidade de articulação entre o Governo, as organizações da sociedade civil e a responsabilidade social das empresas privadas, para garantir o envolvimento das comunidades, além das convencionais consultas que são realizadas em exercícios para a mitigação dos impactos dos projetos a serem implementados (Castel-branco *et al.*, 2022).

Segundo, o Banco Mundial, Moçambique ainda enfrenta desafios adicionais, que incluem a necessidade de manter a estabilidade macroeconômica, especialmente devido à vulnerabilidade do país às flutuações nos preços das *commodities*, e reconstruir a confiança por meio de uma melhor governança, mais eficaz e transparente. O país requer reformas estruturais para apoiar o setor privado, diversificar sua economia, para além dos projetos de alto investimento e da agricultura de subsistência de baixa produtividade. Tais medidas devem ser acompanhadas pelo aprimoramento da qualidade da educação e da prestação dos serviços de saúde no país, visando a melhoria dos indicadores sociais (Bank, 2023e).

2.1.8 São Tomé e Príncipe

São Tomé e Príncipe, oficialmente República Democrática de São Tomé e Príncipe, é um estado localizado no Golfo da Guiné, composto por duas ilhas principais (Ilha de São Tomé e Ilha do Príncipe) e várias outras ilhas pequenas adjacentes, conforme mostrado na Figura 31, totalizando 1001 km^2 , com cerca de 160 mil habitantes. O estado não tem fronteiras terrestres, mas situa-se relativamente próximo das costas do Gabão, Guiné Equatorial, Camarões e Nigéria. Conta com uma população de cerca de 225.000 habitantes, em 2021. A capital do país é São Tomé. Sua língua oficial é o português e sua moeda é o Dobra (Unilab, 2023).

Figura 31 – Mapa com a localização geográfica de São Tomé e Príncipe.



Fonte: (Cia, 2023).

As ilhas de São Tomé e Príncipe permaneceram desabitadas até 1470, quando os navegadores portugueses as descobriram e colonizaram. Posteriormente, tornou-se uma colônia de Portugal até sua independência em 12 de julho de 1975. Durante o período colonial, Portugal estabeleceu uma economia baseada inicialmente no açúcar, evoluindo para o café e, posteriormente, para o cacau no século XIX, todos cultivados com mão de obra escrava africana. Embora a independência tenha sido alcançada em 1975, as reformas democráticas só foram instituídas no final da década de 1980. As primeiras eleições livres ocorreram em 1991, porém disputas internas entre os diferentes partidos políticos resultaram em tentativas de golpe de Estado nos anos de 1995, 1998, 2003 e 2009. Em 2012, três partidos de oposição uniram-se em um voto de censura para derrubar o governo majoritário do antigo primeiro-ministro Patrice Trovoada. Nas eleições legislativas de 2014, Trovoada retornou ao cargo de primeiro-ministro. O presidente Evaristo Carvalho, do mesmo partido político do primeiro-ministro, foi eleito em 2016, configurando uma situação rara em que os cargos de presidente e primeiro-ministro são ocupados pelo mesmo partido no país. No final de 2018, o primeiro-ministro renunciou e foi sucedido por Jorge Bom Jesus. Em 2021, Carlos Vila Nova foi eleito presidente, e Patrice Trovoada iniciou

seu quarto mandato como primeiro-ministro em 2022, após a vitória de seu partido nas eleições legislativas (Cia, 2023).

A economia de São Tomé e Príncipe é caracterizada por sua vulnerabilidade a choques externos, sua dependência de um setor específico e seus desafios estruturais. O país é classificado como de renda baixa, sendo um pequeno Estado insular com uma economia frágil (Bank, 2023e). O principal setor econômico é o agrícola, com a produção de cacau e café, como os produtos mais relevantes para a exportação. No entanto, a agricultura enfrenta desafios, como a falta de investimento em infraestrutura, tecnologia e capacitação dos agricultores, além das mudanças climáticas que podem afetar a produção. O turismo também é uma fonte potencial de crescimento econômico para São Tomé e Príncipe, devido à sua beleza natural e biodiversidade, o país preserva as suas belas paisagens, assim como sua arquitetura singular e calma. No entanto, o setor turístico ainda é incipiente e enfrenta desafios de infraestrutura, transporte e marketing (Unilab, 2023).

Nos últimos anos, foram descobertos petróleo e gás no território, com algumas reservas *offshore* (Unilab, 2023). Porém, o desenvolvimento desses recursos tem sido lento devido a questões de governança, instabilidade política e mudanças nos preços do petróleo no mercado internacional. Além dos desafios específicos do setor, São Tomé e Príncipe enfrenta problemas estruturais mais amplos, como o alto desemprego, a pobreza generalizada, a falta de acesso a serviços básicos e a infraestrutura precária. A dependência de ajuda externa também é uma preocupação, com o país buscando apoio financeiro de organizações internacionais e parceiros bilaterais para financiar seu desenvolvimento (Mendonça, 2015).

A Figura 32 apresenta a projeção do PIB (US\$ Atual) e do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) em São Tomé e Príncipe. Nos últimos anos, o país enfrentou flutuações econômicas decorrentes de diversos fatores, como mudanças nos preços das *commodities*, instabilidade política e eventos climáticos adversos. Sobre as instabilidades políticas, em 2003, passou por uma crise política devido à disputas entre o presidente e o primeiro-ministro, culminando em uma tentativa de golpe de Estado, e em 2009, disputas entre os partidos políticos, afetaram negativamente a economia (Cruz, 2014). Em 2008, a crise financeira mundial também teve impacto na economia do país, apesar de não ter sido tão severa quanto em economias mais desenvolvidas. O crescimento do PIB, portanto, tem sido relativamente estável desde 2009, mas o crescimento depende em grande parte das despesas do governo e não tem contribuído significativamente para a diminuição da pobreza. O PIB cresceu a uma taxa média de 4,5% entre 2009 e 2016, com desaceleração moderada desde 2014 (Cruz, 2020).

Além disso, em 2013, São Tomé e Príncipe passou por uma crise energética devido a problemas técnicos em sua principal usina elétrica, resultando em cortes de energia generalizados em todo o país (Medeiros, 2013). A partir dos anos de 2018 e 2019, o

país também enfrentou crises relacionadas ao setor de energia (Bank, 2019), as quais persistem até os tempos atuais. Durante esse período, o país também enfrentou desafios financeiros devido ao alto endividamento e à dependência de ajuda externa (Renováveis, 2020). Em 2020, a economia do país apresentou grande resiliência aos efeitos da pandemia de Covid-19, registrando uma taxa de crescimento real de 3,0%. Com esta evolução e, contrariando as expectativas iniciais, São Tomé e Príncipe foi uma das poucas economias da África subsaariana a registrar um crescimento positivo (Eurosistema, 2019).

Figura 32 – Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em São Tomé e Príncipe.



Fonte: Elaborado pelo autor com os dados extraídos do (Bank, 2023e).

Com relação ao desenvolvimento humano, segundo o Programa para o Desenvolvimento das Nações Unidas (PNUD), em 2020, São Tomé e Príncipe apresentava um IDH de 0,619, considerado um país com desenvolvimento médio. Em termos comparativos com outros países da CPLP, encontra-se apenas abaixo de Portugal, Brasil e Cabo Verde, sendo que os países restantes apresentam valores inferiores a São Tomé e Príncipe, conforme mostrado na Figura 4. No entanto, dados do Banco Mundial, mostram que a incidência da pobreza é significativa no país, com cerca de um terço da população vivendo com menos de US\$ 1,90 por dia e mais de dois terços da população abaixo da linha de pobreza, vivendo em média com menos de US\$ 3,20 por dia. O país enfrenta os desafios típicos dos pequenos estados insulares, tais como superar a insularidade e pequena dimensão do mercado, assim como a vulnerabilidade a choques naturais e aos efeitos das mudanças climáticas. Além disso, a ilha tem um capital humano limitado e sofre de uma escassa

quantidade de recursos comercializáveis para gerar um crescimento sustentável e inclusivo para reduzir o seu índice de pobreza (Brutinel *et al.*, 2019).

Apesar de representar apenas 4% do PIB e empregar uma pequena parcela da população, o governo de São Tomé e Príncipe está investindo no desenvolvimento do turismo, reconhecendo as condições favoráveis do país, como sua natureza exuberante, gastronomia, clima tropical e praias deslumbrantes. No entanto, para impulsionar o setor, é crucial melhorar a infraestrutura, o saneamento e a conectividade aérea, além de enfrentar desafios como a malária e os altos preços das passagens aéreas. O país está tomando medidas para resolver esses problemas e promover um turismo de qualidade (Mendonça, 2015).

Por fim, a Tabela 17 mostra os indicadores apresentados anteriormente em valores quantitativos para São Tomé e Príncipe, que serão utilizados para o cálculo e proposição do novo índice para a análise dos países selecionados. Nas próximas seções serão detalhados tais indicadores selecionados e como estes se comportam e se relacionam ao longo dos últimos anos.

Tabela 17 – Valores dos indicadores para o país São Tomé e Príncipe.

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	0,619
Acesso à eletricidade	76,55%
Geração de Energia	0,10 <i>TWh</i>
Produção de eletricidade a partir de Energias Renováveis	10%
Capacidade de Geração Instalada	28 <i>MW</i>

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados de (Undp, 2023; Cia, 2023; Ritchie; Roser; Rosado, 2022), relativos ao ano de 2020.

Apesar de ter uma das taxas mais altas de acesso à eletricidade dentre os países africanos da CPLP estudados neste trabalho, conforme mostrado na Figura 7, um dos desafios mais críticos para o desenvolvimento em São Tomé e Príncipe é o acesso à energia. A energia influencia profundamente o desenvolvimento humano e é um motor para o crescimento econômico e o desenvolvimento social do país. Em São Tomé e Príncipe, a cobertura de eletricidade é mais difundida entre as famílias com rendimentos mais altos do que nas famílias com baixa renda. O setor de energia no país, enfrenta dificuldades financeiras, técnicas e estruturais, agravadas por problemas de gestão que podem expor o abastecimento de energia a grandes riscos. Apesar de ter uma das tarifas mais elevadas da região, a concessionária nacional EMAE (Empresa de Água e Eletricidade), possui o desafio de recuperar custos devido a um mix de geração que é dependente de uma capacidade térmica ineficiente e de importações caras de combustível (Brutinel *et al.*, 2019).

O governo tem buscado incentivar o uso de energias renováveis, definindo como meta para 2030 a inserção na matriz de produção energética de 50% de energias provenientes de fontes renováveis, visando o desenvolvimento da capacidade de produção de energia no

país, como por exemplo, a hidroelétrica e/ou fotovoltaica solar (PV). Apesar da carência energética atual, os investimentos neste setor estão focados na criação de uma capacidade térmica adicional. Além disso, a deficiente manutenção das instalações da rede, significa que os segmentos de geração, transmissão e distribuição são altamente vulneráveis a falhas nas ilhas. Mais recentemente, como resposta à crise energética, resultado da redução de abastecimento de combustível, o governo identificou alguns projetos privados para implementação imediata (Renováveis, 2020).

Apesar dos incentivos governamentais para fontes renováveis de energia, São Tomé e Príncipe ainda possui uma matriz elétrica pouco diversificada, dominada por centrais termoelétricas a gásóleo, com apenas uma central hidroelétrica. A potência instalada total é de 59,68 *MVA*, dos quais apenas 35,22 *MW* estão disponíveis, representando aproximadamente 10% de energias renováveis, conforme mostrado na Tabela 17. De acordo com a Figura 9, o país se destaca como o que menos utiliza fontes renováveis na CPLP (Renováveis, 2020).

Corroborando tais informações, a Figura 33, mostra a tendência de capacidade instalada de eletricidade no país ao longo dos anos de 2015-2022, notando-se a elevada participação dos combustíveis fósseis. Ao longo das décadas, as energias renováveis perderam espaço na matriz elétrica devido à deterioração das centrais hidroelétricas coloniais e à necessidade de aumentar a produção termoelétrica para atender à crescente demanda energética. Em 1980, as energias renováveis representavam 80,4% da produção elétrica, caindo para apenas 6% em 2021, conforme mostrado na Tabela 18. Todavia, em termos de consumo de energia primária, a contribuição das energias renováveis é bastante superior, devido ao consumo de biomassa a nível doméstico (Renováveis, 2020). Assim, a estrutura do setor elétrico é altamente marcada por uma grande dependência externa em termo de importação de combustíveis, destinados essencialmente, a produção de energia elétrica. Para grande parte da população, sem acesso ao fornecimento de energia, nota-se que a madeira é o recurso energético mais difundido e conhecido (Esperança, 2018).

Figura 33 – Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - São Tomé e Príncipe.



Fonte: (Irena, 2023a).

Tabela 18 – Perfil da geração de eletricidade em São Tomé e Príncipe.

Geração de Eletricidade em 2021	São Tomé e Príncipe	
	GWh	%
Não-renováveis	96	94
Renováveis	6	6
Hidro e Marinha	6	6
Solar	0	0
Eólica	0	0
Bioenergia	0	0
Geotérmica	0	0
Total	103	100

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados do *website* da (Irena, 2023a), para o ano de 2021.

Segundo a Associação Lusófona de Energias Renováveis, São Tomé e Príncipe tem realizado alguns avanços na construção de infraestruturas energéticas, no nível das centrais como das redes elétricas. Vastas áreas do país estão eletrificadas apesar de ter como fonte de produção mais de 90% do tipo térmica à diesel. A eletrificação rural chegou a várias

comunidades nos últimos anos através da extensão das redes. Contudo, as limitações ao nível financeiro e a irregularidade geográfica têm constituído barreiras para a exploração de recursos renováveis existentes, bem como promoção de uma verdadeira economia energética, uma sólida expansão de rede elétrica e a busca pela transição energética (Renováveis, 2020).

Um dos principais desafios enfrentados nesse processo de transição energética no país, é a falta de infraestrutura, capacidade técnica e investimentos necessários para implementar projetos de energia renovável em larga escala (Bank, 2019). Alguns avanços já foram alcançados como, por exemplo, o governo lançou o Plano de Ação Nacional das Energias Renováveis (PANER), visando a elaboração de estudos voltados para o potencial eólico e solar do país, bem como medidas que irão promover a redução de emissões de GEE, redução do desmatamento e promoção de uma produção agrícola sustentável. Além disso, projetos piloto de energia solar foram implementados em comunidades remotas, com o objetivo de fornecer eletricidade limpa e acessível. Parcerias com organizações internacionais e iniciativas de cooperação regional têm ajudado o desenvolvimento do país (Organization, 2021).

Vulnerável às mudanças climáticas, São Tomé e Príncipe registou temperaturas crescentes, diminuição da pluviosidade, estações secas mais prolongadas, diminuição dos níveis dos rios, inundações, subida do nível do mar e uma erosão costeira crescente, nos últimos anos, afetando setores-chave como energia, agricultura, pesca e pecuária (Bank, 2019). Para lidar com esses desafios, o país desenvolveu uma Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) com o objetivo de aumentar a parcela de energia renovável na rede elétrica, reduzir as perdas na rede elétrica e melhorar a eficiência energética. O custo estimado da NDC de 2020 a 2030 é de US\$ 150 milhões (Bank; Oecd; Undp, 2023). Além disso, São Tomé e Príncipe busca promover uma agricultura 100% orgânica e sustentável, com participação do setor privado, e explorar oportunidades na chamada "economia azul", baseada na preservação marinha. O atual mix energético, com 94% da energia gerada por combustíveis fósseis, pode ser alterado com o apoio do setor privado. Para alcançar esses objetivos, espera-se que o governo adote mudanças regulatórias para investir em energia verde e limpa no país (Renováveis, 2020).

Em resumo, a transição energética em São Tomé e Príncipe é um processo ainda incipiente, envolvendo a necessidade de adoção de fontes de energia mais sustentáveis e a redução da dependência dos combustíveis fósseis. Apesar dos desafios, há um crescente reconhecimento da importância dessa transição para garantir um futuro energético mais seguro, limpo e resiliente para o país.

2.1.9 Timor-Leste

Timor-Leste, oficialmente chamado de República Democrática de Timor-Leste, é um dos países mais jovens do mundo e ocupa a parte oriental da ilha de Timor, no Sudeste Asiático, conforme mostrado na Figura 34. Com 14.874 km^2 de extensão territorial, é consideravelmente menor que o estado brasileiro, de Sergipe, por exemplo. Sua capital é Díli e a moeda é o Dólar (Unilab, 2023).

Figura 34 – Mapa com a localização geográfica de Timor-Leste.



Fonte: (Cia, 2023).

A ilha de Timor esteve ativamente envolvida nas redes comerciais do Sudeste Asiático durante séculos e, no século XIV, exportava sândalo aromático, escravos, mel e cera. Várias chefias locais governaram a ilha no início do século XVI, até a chegada de comerciantes portugueses, atraídos principalmente pela relativa abundância de sândalo. Em meados do século XVI, os portugueses colonizaram a ilha. A partir de um conflito com os holandeses na região, resultou-se em um tratado de 1859, no qual Portugal cedeu a porção ocidental da ilha. O Japão Imperial ocupou o Timor Português de 1942 a 1945, mas Portugal retomou a autoridade colonial após a derrota japonesa na Segunda Guerra Mundial. Timor-Leste declarou-se independente de Portugal em 28 de Novembro de 1975, porém foi invadido e ocupado pelas forças indonésias nove dias depois. Portanto, em 1976, foi incorporado à Indonésia como província de Timor Timur (Unilab, 2023).

Ao longo das duas décadas seguintes, uma campanha de pacificação mal sucedida resultou na morte de aproximadamente 100-250 mil pessoas em Timor-Leste. Sob supervisão da ONU, um referendo popular foi realizado em 1999, no qual a maioria votou pela independência da Indonésia. No entanto, milícias timorenses anti-independência, apoiadas pelos militares indonésios, retaliaram, causando a morte de cerca de 1.400 timorenses e o deslocamento de quase 500 mil. A infraestrutura do país foi severamente danificada, incluindo casas, sistemas de irrigação, abastecimento de água, escolas e rede elétrica.

Tropas de paz lideradas pela Austrália foram enviadas para pôr fim à violência, e em 2002, Timor-Leste foi reconhecido internacionalmente como um Estado independente. (Cia, 2023). Devido ao seu processo complexo de independência, as línguas oficiais do país são tétum e português, enquanto o indonésio e a língua inglesa são consideradas línguas de trabalho pela atual constituição de Timor-Leste. Devido à recente ocupação indonésia, a maioria da população compreende a língua indonésia e apenas uma minoria o português (Unilab, 2023).

Em 2006, tensões internas ameaçaram a segurança do Timor-Leste, quando um ataque militar levou à violência e ao colapso da lei e da ordem no país. A pedido de Díli (capital do Timor-Leste), uma Força Internacional de Estabilização, do inglês *International Stabilization Force* (ISF), liderada pela Austrália, juntamente com o Conselho de Segurança da ONU, estabeleceram a Missão Integrada da ONU em Timor-Leste ou, do inglês, *UN Integrated Mission in Timor-Leste* (UNMIT), que incluiu uma presença autorizada de mais de 1.600 policiais no país. A ISF e a UNMIT restauraram a estabilidade, permitindo a realização de eleições presidenciais e parlamentares, no ano de 2007. Em 2008, os rebeldes realizaram um ataque, que foi mal sucedido contra o presidente e o primeiro-ministro. Desde o ataque, Timor-Leste fez progressos consideráveis na construção da estabilidade e das instituições democráticas, realizando uma série de eleições bem-sucedidas desde 2012. No entanto, coligações políticas fracas e instáveis levaram a episódios periódicos de impasse político e crises no governo. A ISF e a UNMIT partiram em 2012, mas a ONU continua a prestar assistência no desenvolvimento econômico e no fortalecimento das instituições governamentais no país. Atualmente, Timor-Leste é uma das nações mais pobres do mundo, com uma economia que depende fortemente dos recursos energéticos do Mar de Timor (Cia, 2023).

Neste contexto, a economia de Timor-Leste assenta na produção de cacau, café, cravo e coco. Porém, nos últimos anos, também foram encontrados importantes reservas de petróleo e gás natural (Unilab, 2023). Portanto, devido ao seu processo de independência, marcado por diversos conflitos, sua economia ainda é dependente do setor público, com desafios relacionados ao desenvolvimento e com uma grande parte do PIB proveniente do setor petrolífero. O país possui reservas de petróleo e gás natural no Mar de Timor, que são sua principal fonte de receita. No entanto, a dependência excessiva dos recursos naturais, torna a economia de Timor-Leste vulnerável a choques externos, como flutuações nos preços do petróleo no mercado internacional. Além disso, a produção de petróleo é finita e a receita gerada precisa ser gerida de forma prudente para garantir o desenvolvimento sustentável a longo prazo.

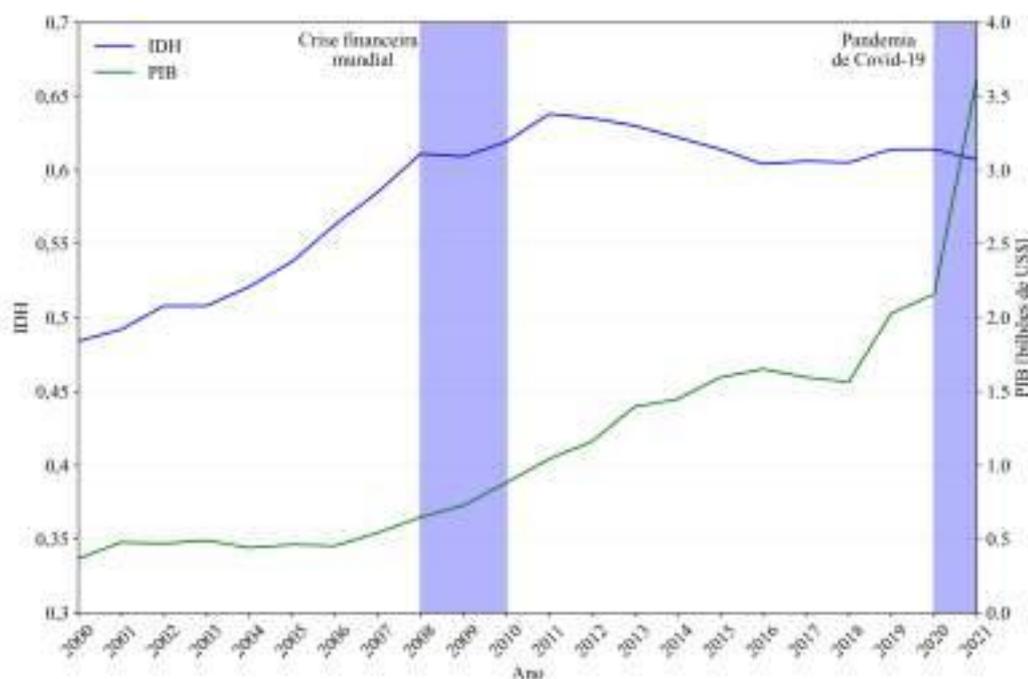
Para diversificar sua economia e reduzir a dependência do petróleo, Timor-Leste está buscando desenvolver outros setores, como agricultura, turismo e indústrias não extrativistas. O país possui um grande potencial agrícola, com terras férteis e um clima favorável para o cultivo de uma variedade de produtos. O turismo também é uma área com

grande potencial de crescimento, devido à sua rica cultura, história e paisagens naturais deslumbrantes.

A Figura 35 apresenta a projeção do PIB (US\$ Atual) e do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) em Timor-Leste. Observa-se um crescimento do PIB do país, nos últimos anos, principalmente devido ao acordo celebrado com a Austrália, de extração petrolífera e de gás natural no Mar de Timor Leste, o qual, segundo previsão do Banco Mundial, fornece ao Estado cerca de US\$ 3 bilhões, em receitas líquidas durante 20 anos (Suécia, 2005). A crise financeira de 2008, não afetou o país de maneira significativa, quanto nas economias mais desenvolvidas. Além disso, a Unctad (do inglês, *United Nations Conference on Trade and Development*), apontou melhora do desempenho econômico em Timor-Leste, evidenciando que dentre as nações asiáticas, o país foi o que apresentou um “ganho de desempenho notável” entre 2018 e 2022 (Unctad, 2023). Porém, a economia foi atingida pelos choques duplos da Covid-19 e do ciclone tropical, mas a economia não petrolífera cresceu 1,5% em 2021. Um orçamento recorde com despesas de quase 90% do PIB impulsionou o consumo público e uma série de medidas de estímulo fiscal apoiou o emprego e os rendimentos (Bank, 2023e). Portanto, o crescimento médio do PIB de Timor-Leste foi de 2,1% ao ano no período 2010-2020, representando taxas de crescimento mais elevadas que no início da década, entretanto as taxas de crescimento negativas em 2017, 2018 e 2020 prejudicaram os progressos alcançados (Timor-leste, 2022).

Além dos desafios econômicos, Timor-Leste também enfrenta questões sociais e de desenvolvimento, incluindo altos índices de pobreza, desemprego e acesso limitado a serviços básicos como saúde e educação (Bank, 2023e). Ao longo dos anos, o índice de desenvolvimento humano manteve uma tendência de crescimento, atingindo um IDH de 0,614, considerado como médio, em 2020. Porém, o país ainda enfrenta diversos desafios relacionados à pobreza, estima-se que 20% da sua população viva com menos de 1 dólar americano por dia, 40% abaixo de 1,5 dólar americano, o que constitui o limite nacional de pobreza, e 63% dos 2 dólares americanos. A maioria da população pobre vive em zonas rurais. Falta frequente de alimentos, ensino e cuidados de saúde deficientes, caracterizam o dia a dia dos mais pobres no país. As mulheres tem uma posição social e econômica insignificante e estão marginalizadas do processo político (Suécia, 2005).

Figura 35 – Relação do desenvolvimento do PIB e IDH em Timor-Leste.



Fonte: Elaborado pelo autor com os dados extraídos do (Bank, 2023e).

Interessante notar que Timor-Leste vem registrando um apreciável crescimento da sua economia interna, a par da entrada de significativas receitas petrolíferas, as quais são canalizadas para o Fundo Petrolífero, que apresenta já um valor considerável. A confortável posição orçamental vem permitindo a implementação de um ambicioso programa de investimento públicos, visando corrigir as grandes carências ainda existentes no domínio das infraestruturas. Todavia, em termos de vantagens competitivas dinâmicas, apresenta-se difícil apostar numa evolução do modelo timorense para uma especialização industrial, podendo admitir-se que, a longo prazo, venha a evoluir para um modelo de desenvolvimento equilibrado (Pereira, 2014).

Visando a não depender apenas dos recursos petrolíferos, o governo está empenhado em diversificar a economia e criar condições fiscais e burocráticas que permitam uma maior predisposição para os investidores nacionais e internacionais investirem no país. A criação de novos negócios e indústrias, bem como o investimento no setor privado são o motor do crescimento. Inovação e criação de emprego para o povo timorense e irá permitir a transição para uma economia não petrolífera. Neste sentido, o governo propõe medidas em cinco áreas chave: (i) comércio, (ii) indústria, (iii) setor privado, (iv) emprego e (v) cooperativas, para melhorar o ambiente de negócios e o investimento, criar condições para o empreendedorismo, estimular a participação ativa no sistema econômico nacional e aumentar a exportação de bens, o que, em última análise, contribui para o aumento da

receita do Estado através da arrecadação de impostos (Timor-leste, 2022).

Timor-Leste é um país com um rico patrimônio natural e cultural, com grande potencial para desenvolver o turismo como uma grande indústria para dinamizar o desenvolvimento econômico do país. Nestes termos, o governo de Timor-Leste estabeleceu uma política de promoção do turismo e um Plano Estratégico de Desenvolvimento (PED) 2011-2030, no qual destacou as metas de desenvolvimento para o setor do turismo. Pode considerar-se o turismo comunitário como uma das áreas mais importantes para promover e desenvolver a economia das comunidades locais (Mendonça; Carvalho; Henriques, 2023). No entanto, este setor ainda enfrenta desafios, tais como infraestrutura e acessibilidade limitada, falta de marketing eficaz, segurança ineficaz, necessidade de estabilidade política, diversificação de produtos turísticos e capacitação de recursos humanos.

Por fim, a Tabela 19 mostra os indicadores utilizados em valores quantitativos para Timor-Leste, que serão utilizados para o cálculo e proposição do novo índice para a análise dos países selecionados. Nas próximas seções serão detalhados tais indicadores selecionados e como estes se comportam e se relacionam ao longo dos últimos anos.

Tabela 19 – Valores dos indicadores para o país Timor-Leste.

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	0,614
Acesso à eletricidade	96,12%
Geração de Energia	0,50 <i>TWh</i>
Produção de eletricidade a partir de Energias Renováveis	0%
Capacidade de Geração Instalada	284 <i>TW</i>

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados de (Undp, 2023; Cia, 2023; Ritchie; Roser; Rosado, 2022), relativos ao ano de 2020.

Em resumo, a economia de Timor-Leste está em um estágio de transição, com esforços significativos sendo feitos para diversificar a base econômica e promover um crescimento mais inclusivo e sustentável. O país enfrenta desafios, mas também possui oportunidades para desenvolver seu potencial econômico e melhorar o padrão de vida de sua população. Dentre estes desafios, o país apesar de ter um alto índice de acesso à eletricidade, conforme mostrado na Tabela 19, 96,12% da população tem acesso à eletricidade e o plano de eletrificação nacional se tornou motivo de orgulho para o país, no entanto as áreas rurais e remotas ainda enfrentam limitações no acesso e qualidade do serviço de energia. Neste sentido, para regiões mais remotas, são utilizadas a geração elétrica de energias alternativas como, por exemplo, a energia solar para autoprodução. O país produz mais eletricidade do que aquela que consome, o que é uma margem positiva para os investidores, de modo a aproveitarem a potência instalada (Pereira, 2017).

Ademais, a infraestrutura elétrica do país ainda é subdesenvolvida, com interrupções frequentes no fornecimento de eletricidade e baixa confiabilidade do serviço. Portanto, mesmo com os avanços alcançados é importante que Timor-Leste continue implementando

melhorias tanto no acesso à eletricidade, quando na qualidade e confiabilidade do serviço prestado, principalmente nas regiões rurais, incluindo investimentos em projetos de energia renovável e extensão da rede elétrica para áreas não atendidas (Costa, 2013). No entanto, desafios como financiamento, infraestrutura inadequada e capacidade técnica limitada continuam a ser obstáculos para melhorar o acesso à eletricidade em todo o país. Além disso, o país ainda é muito dependente de fontes de energia tradicionais, como geradores a diesel ou querosene, além de desenvolver poucos projetos de energia solar, voltados apenas à autoprodução (Cruz, 2016).

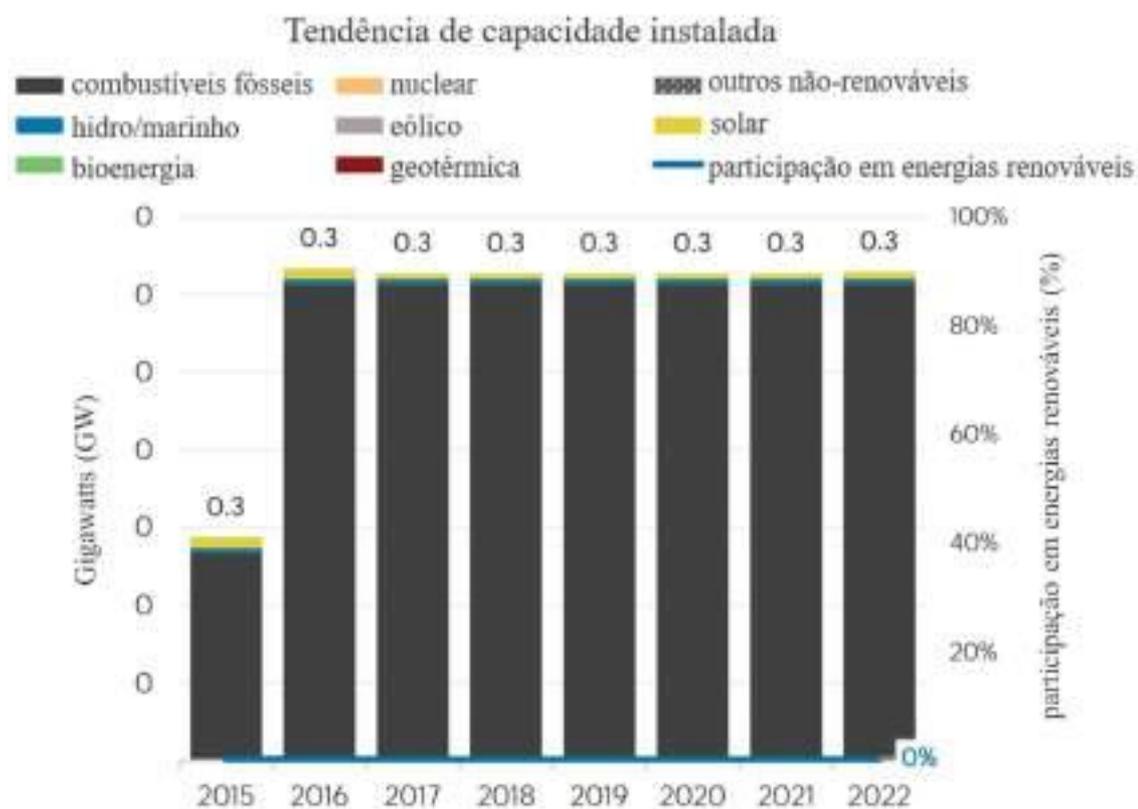
Com base nos objetivos estabelecidos no Plano de Desenvolvimento do Setor Elétrico (PDSE) e no Programa de Investimento Setorial (PIS), um projeto financiado pelo Banco Mundial desenvolveu um plano de eletrificação rural (PDER) para Timor-Leste. O plano define as prioridades e os prazos para expandir o acesso à energia elétrica de três formas: a expansão da rede nacional, o desenvolvimento de mini-redes e o fornecimento de sistemas domésticos (Costa, 2013).

Por outro lado, conforme mostrado na Tabela 19, o país ainda não utiliza de forma significativa as fontes de energia renováveis, sendo a principal fonte de energia, os combustíveis fósseis, assim como também pode-se observar na Figura 36, com a tendência de capacidade instalada de eletricidade. Apesar de Timor-Leste possuir um grande potencial para o uso de energias renováveis, devido às suas condições climáticas favoráveis e abundância de recursos naturais, o país ainda enfrenta desafios significativos em sua transição para fontes de energia mais limpas e sustentáveis.

Com relação as fontes de energia renovável o país utiliza, mesmo que ainda de forma incipiente, os recursos hídricos e solares, conforme mostrado na Tabela 20. Algumas pequenas hidrelétricas já foram construídas no país, inclusive em áreas rurais para fornecer eletricidade para comunidades locais. Projetos voltados também para a energia solar foram desenvolvidos no país. Porém, o país possui um potencial muito alto voltado para as fontes de energia renováveis, principalmente eólica, solar e hidráulica, uma vez que tem boas condições, devido a sua localização na zona tropical, para substituir a dependência dos geradores de combustíveis derivados do petróleo (Cruz, 2016).

Com relação ao potencial da fonte solar, devido à sua localização próxima à linha do equador, o país recebe uma quantidade significativa de radiação solar ao longo do ano. Projetos de energia solar, como fazendas solares e sistemas de energia solar distribuídos, têm o potencial de fornecer eletricidade limpa e confiável para áreas urbanas e rurais (Costa, 2013). Já com relação ao potencial da fonte eólica, estudos indicam que há áreas costeiras e montanhosas com ventos consistentes, os quais poderiam ser aproveitados para a geração de eletricidade, embora o país ainda não tenha desenvolvido projetos de energia eólica em grande escala (Cruz, 2016).

Figura 36 – Tendência de Capacidade Instalada de Eletricidade - Timor-Leste.



Fonte: (Irena, 2023a).

Tabela 20 – Perfil da geração de eletricidade em Timor-Leste.

Geração de Eletricidade em 2021	Timor-Leste	
	GWh	%
Não-renováveis	555	100
Renováveis	2	0
Hidro e Marinha	2	0
Solar	1	0
Eólica	0	0
Bioenergia	0	0
Geotérmica	0	0
Total	557	100

Fonte: Elaborado pela autora (2024), de acordo com os dados do *website* da (Irena, 2023a), para o ano de 2021.

Visando promover o uso de energias renováveis, o governo de Timor-Leste tem buscado desenvolver políticas e estratégias que incentivem investimentos no setor de energia limpa, bem como a cooperação com parceiros internacionais e organizações multilaterais para apoiar o desenvolvimento de projetos de energia renovável no país (Timor-leste, 2010).

A implementação bem-sucedida dessas iniciativas pode ajudar Timor-Leste a diversificar sua matriz energética, reduzir sua dependência de combustíveis fósseis e promover um desenvolvimento sustentável a longo prazo.

Timor-Leste é altamente vulnerável às mudanças climáticas devido à sua localização geográfica, suas regiões costeiras densamente povoadas, sua comunidade majoritariamente agrária, e pela grande dependência de recursos naturais para os seus principais setores econômicos - inclusive turismo e pesca. Em função da precariedade de sua infraestrutura, resultado dos conflitos político-sociais das últimas décadas, o país enfrenta desafios de segurança alimentar e hídrica, sendo particularmente vulnerável aos eventos climáticos extremos e ao aumento do nível do mar. As mudanças climáticas, assim como seus impactos nas comunidades e ecossistemas, representam grandes obstáculos no processo de reconstrução pós-conflito e na implementação do Plano Estratégico de Desenvolvimento de Timor-Leste 2011–2030 (Timor-leste, 2021).

No ano de 2019, visando cumprir os compromissos internacionais e responder à necessidade urgente de se adaptar aos impactos climáticos, Timor-Leste iniciou o seu processo do Plano Nacional de Adaptação (PNA), com o apoio conjunto do PNUD e do Programa de Apoio Global do Plano de Adaptação Nacional das Nações Unidas (NAP-GSP, na sigla em inglês). Portanto, o PNA identifica a Adaptação Baseada em Ecossistemas (AbE) como um dos 14 princípios orientadores e como estratégias de adaptação futuras, maximizando os co-benefícios entre os esforços de adaptação e a proteção ambiental. O documento do PNA enfatiza a importância dos ecossistemas e da biodiversidade, bem como seu papel integral nos meios de subsistência e na resiliência das comunidades (Qi, 2021). Ademais, o processo de PNA foi concebido para se alinhar com os programas e políticas climáticas existentes, tais como os Programas de Ação Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas, a sua contribuição pretendida nacionalmente determinada (INDC, na sigla em inglês), as futuras contribuições nacionalmente determinadas (NDC, na sigla em inglês) e o programa nacional do Fundo Verde para o Clima (Clima, 2019).

Neste contexto, apesar do potencial das energias renováveis, Timor-Leste ainda enfrenta desafios potenciais e significativos em sua transição energética. Com destaque para a falta de infraestrutura e capacidade técnica para implementar projetos de energia renovável, limitações de financiamento, dependência contínua de combustíveis fósseis subsidiados e instabilidade política. Portanto, é necessário a implementação de uma política urgente para criar uma “Comissão Interministerial”, que envolve direta ou indiretamente os setores relacionados com as energias e mudanças climáticas no país (Sá, 2018).

2.2 RELOP

A Associação dos Reguladores de Energia dos Países de Língua Oficial Portuguesa é uma organização internacional, focada na promoção de capacitação profissional e partilha

de conhecimento entre especialistas e profissionais das Entidades-Membro. A RELOP reúne as entidades reguladoras dos setores de energia elétrica dos países de língua portuguesa e promove a cooperação, troca de experiências e o equilíbrio das práticas regulatórias. Atualmente, os países membros são: Angola, Brasil, Cabo Verde, Moçambique, Portugal e São Tomé e Príncipe, com 12 organizações participantes, conforme mostrado na Figura 37. Tal associação busca fortalecer o diálogo entre os reguladores de energia dessas nações, visando o desenvolvimento sustentável do setor elétrico (Relop, 2023).

Figura 37 – Países e organizações pertencentes à RELOP.



Fonte: (Relop, 2023).

A RELOP foi constituída em 29 de maio de 2008, em Lisboa, pelos reguladores de energia de Portugal, Angola, Brasil e Cabo Verde, no âmbito da Conferência “Regulação de Energia nos Países de Língua Oficial Portuguesa”. Em 2018, com o aprofundamento da união entre os reguladores-membro, adquiriu estatuto jurídico de Associação sob lei portuguesa, formalizando a sua atividade. Tal mudança permitiu que a Associação ganhasse um maior reconhecimento e elevasse o padrão da sua atividade, com novas iniciativas e projetos.

Dos membros atuais, Angola participa da RELOP através das organizações Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANPG), Instituto Regulador dos Derivados do Petróleo da República (IRDP) e Instituto Regulador dos Serviços de Eletricidade e Água (IRSEA); o Brasil com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP); Cabo Verde com a

Agência Reguladora Multissetorial da Economia (ARME); Moçambique com a Autoridade Reguladora de Energia (ARENE) e o Instituto Nacional do Petróleo (INP); Portugal com a Entidade Nacional para o Setor Energético (ENSE) e a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE); São Tomé e Príncipe com a Agência Nacional do Petróleo (ANP-STP) e a Autoridade Geral de Regulação (AGER).

Portanto, dentre as principais atividades da RELOP destaca-se:

1. **Cooperação Técnica:** promover a cooperação técnica entre os reguladores de energia, compartilhando conhecimentos e melhores práticas para aprimorar a eficiência e eficácia regulatória no setor de energia.
2. **Padronização Regulatória:** busca-se o equilíbrio e proximidade entre normas e procedimentos regulatórios nos países membros, facilitando a integração e a interoperabilidade dos sistemas elétricos.
3. **Desenvolvimento do Setor Elétrico:** promover o desenvolvimento sustentável do setor elétrico nos países membros, incentivando investimentos, modernização de infraestrutura e a promoção de fontes de energia mais limpas e renováveis.
4. **Capacitação e Formação:** proporcionar programas de capacitação e formação para os profissionais do setor elétrico, buscando o aprimoramento técnico e regulatório.
5. **Intercâmbio de Informações:** facilitar o intercâmbio de informações sobre as tendências e desafios do setor elétrico, permitindo que os reguladores estejam atualizados e preparados para lidar com questões emergentes.

De acordo com o Plano Estratégico 2022-2025, a RELOP e os seus membros, nas suas respectivas áreas de atuação, identificam as mudanças climáticas; o aumento do preço e consumo de energia; a fiscalização, segurança de abastecimento; a promoção e atração de investimentos no setor energético; proteção dos direitos dos consumidores; os regimes sancionatórios no setor energético; a regulação na pandemia; a transição energética; e a eficiência energética, como temas de extrema importância e impacto no contexto atual, os quais requerem uma atenção crescente e necessidade de aprofundamento do conhecimento técnico e regulatório para promover a sustentabilidade e segurança energética. Ao mesmo tempo, a universalização do acesso a energia apresenta-se de extrema importância, principalmente no contexto dos países em desenvolvimento, para além de ser um dos objetivos definidos pela ONU (Relop, 2022).

Assim como a CPLP, a RELOP coopera com diferentes organizações afins. Ademais, reconhecendo a importância de um quadro regulatório estável e eficiente para a atração de investimentos no setor de energia, promover o desenvolvimento econômico e social, a RELOP fornece uma plataforma sólida para a partilha de informação, conhecimento e

experiência e recursos no contexto das responsabilidades nacionais, além de promover maior desenvolvimento dos países pertencentes. É importante notar que dos países pertencentes à CPLP, apenas Guiné Equatorial, Guiné-Bissau e Timor-Leste não fazem parte da RELOP, justamente os países que possuem indicadores aquém do esperado no setor de energia, principalmente com relação ao uso de fontes de energia renováveis.

Neste contexto, a RELOP desempenha um papel de destaque na promoção da cooperação regional e na criação de um ambiente regulatório mais consistente e transparente entre os países de língua portuguesa. Essa colaboração é fundamental para enfrentar desafios comuns e promover o desenvolvimento sustentável dos setores de energia elétrica nos estados membros.

2.3 TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Os combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, têm desempenhado um papel crucial ao longo da história da humanidade, como principais fontes de energia (Hubbert, 1949). O uso do carvão remonta aos tempos antigos, mas foi durante a Revolução Industrial, no século XVIII, que seu uso em larga escala começou, impulsionando a industrialização por meio do fornecimento de energia para máquinas à vapor e locomotivas, acelerando o desenvolvimento nos países independentes e mais ricos (Turnbull, 1987). No final do século XIX e início do século XX, a exploração e utilização do petróleo cresceram rapidamente, tornando-se a principal fonte de energia para transporte, indústria, aquecimento e eletricidade em muitas partes do mundo (Carvalho, 2008). Também no século XX, o gás natural, foi explorado e utilizado em grande escala, sendo considerado uma alternativa mais limpa em comparação com o carvão e o petróleo (Kan *et al.*, 2019).

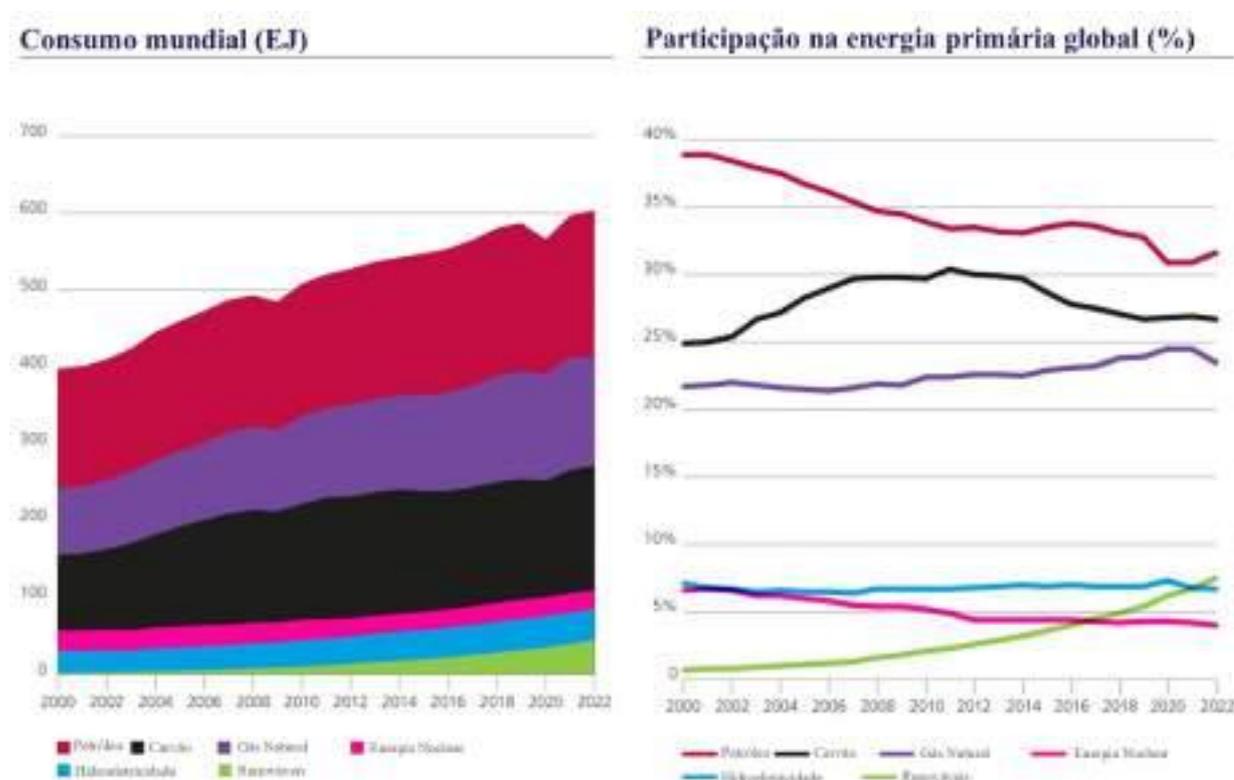
A energia é um fator crucial para o desenvolvimento de um país, segundo (Mazur, 2011; Nadimi; Tokimatsu, 2018), é possível quantificar a qualidade de vida de uma nação pelo consumo da energia per capita. Portanto, a disponibilidade da energia elétrica impacta em fatores como acesso a serviços básicos, melhoria na produção agrícola, acesso a água encanada, geração de empregos e incremento de renda da população local (Nadimi; Tokimatsu, 2018). Existem fortes relações entre o consumo de energia e o desenvolvimento econômico de um país. Entretanto, cada nação lida com seus próprios desafios, justificado por uma série de fatores estruturais, sociais, de cunho político e econômico (Vaz; Farret, 2020).

Pode-se exemplificar, a partir dos países do eixo europeu, que devido ao pioneirismo na primeira Revolução Industrial, adotaram de maneira expressiva o uso de usinas térmicas baseadas na queima de combustíveis fósseis (Solomon; Krishna, 2011). Em contraste, no caso do Brasil, há predominância de usinas hidrelétricas, consideradas fontes renováveis e limpas, e a introdução de fontes alternativas ocorre de forma a complementar a matriz elétrica nacional, classificada como hidro-termo-eólico. Essa integração requer constante

esforço no sentido de modernização e inserção destes recursos tecnológicos a rede, visando à pluralidade das distintas regiões do país e os recursos energéticos disponíveis (Epe, 2023).

Neste contexto, o consumo de energia está aumentando ao longo dos anos, conforme mostrado na Figura 38 e, conseqüentemente, a busca pelo desenvolvimento dos países também. De acordo com o estudo *Statistical Review of World Energy 2023* – em português, Relatório Estatístico Mundial de Energia (Institute, 2023), o ano de 2022, registou um aumento de 1% no consumo total de energia primária, elevando-o para cerca de 3% acima do nível pré-covid de 2019. Além disso, o consumo de combustíveis fósseis, como percentagem da energia primária, manteve-se estável em 82%, representando uma grande participação na matriz energética global.

Figura 38 – Energia primária (Consumo mundial)¹.



Fonte: (Institute, 2023).

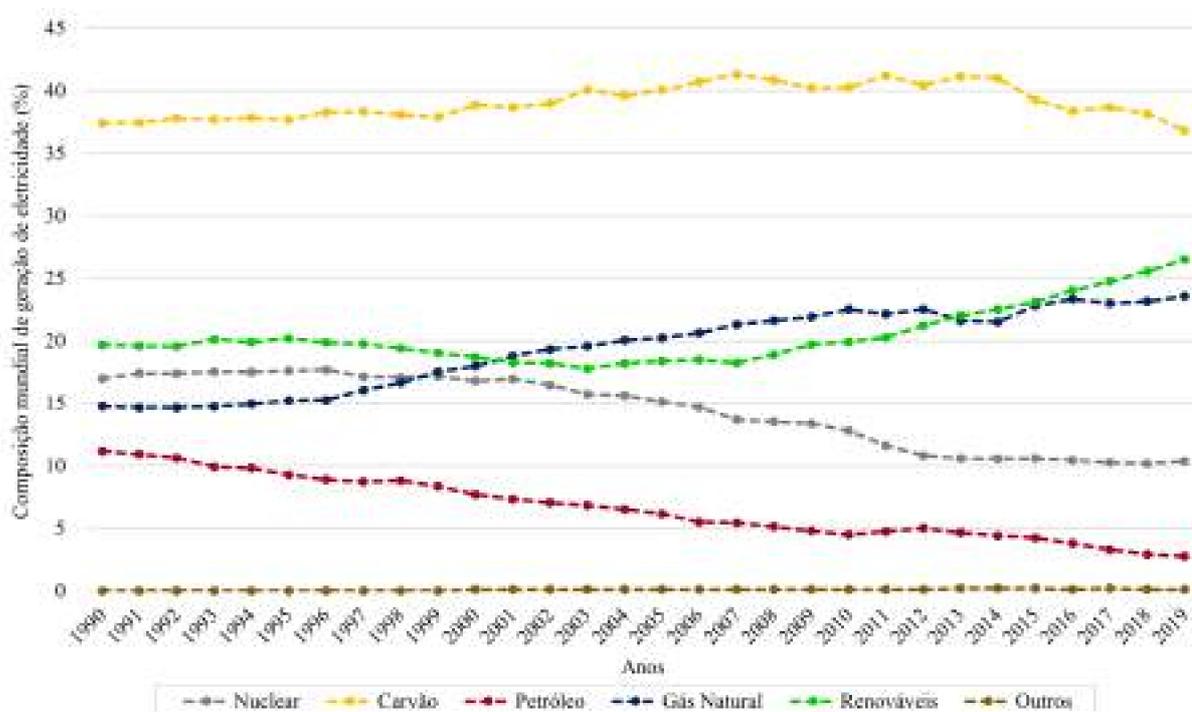
¹ a energia primária compreende combustíveis comercializados, incluindo energias renováveis modernas utilizadas para gerar eletricidade.

De acordo com a Figura 38, o consumo mundial de energia primária vem aumentando com o passar dos anos e as fontes derivadas do petróleo, bem como o gás natural e o carvão, ainda desempenham um papel dominante na matriz energética global, apesar dos avanços na busca por energias renováveis. Por outro lado, mesmo que ainda abaixo do esperado, a participação de renováveis na energia primária global, vem aumentando exponencialmente. No ano de 2022, a participação das energias renováveis (excluindo hidroeletricidade) no

consumo de energia primária, atingiu 7,5%, representando um aumento de quase 1% com relação ao ano anterior.

Apesar de sua importância histórica, o uso excessivo de combustíveis fósseis tem sido associado a impactos ambientais negativos, como mudanças climáticas, poluição do ar e esgotamento de recursos naturais, impulsionando o interesse crescente em fontes de energia renovável e alternativas para mitigar tais problemas. Desde 1990 até 2019, a composição mundial de geração de eletricidade, a partir de fontes renováveis de energia, vem aumentando significativamente, ficando abaixo apenas do carvão, conforme mostrado na Figura 39, segundo a Agência Internacional de Energia, ou do inglês, *International Energy Agency* (IEA).

Figura 39 – Composição mundial de geração de eletricidade por combustível, 1990-2019.



Fonte: Autora, com os dados extraídos do (Iea, 2023).

Portanto, a transição energética emerge como uma resposta imperativa aos desafios contemporâneos, catalisada pela necessidade premente de conter a crise climática global, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e estabelecer fundamentos para um futuro sustentável. Segundo o *World Energy Transitions Outlook 2023*, confeccionado pela *International Renewable Energy Agency* (IRENA), uma transição energética baseada em energias renováveis, pode ajudar a resolver vários problemas ao mesmo tempo como, por exemplo, acessibilidade energética, segurança energética e a crise climática (Irena, 2023b).

A crise climática é causada devido, principalmente, à utilização generalizada de

combustíveis fósseis - carvão, petróleo e gás natural. Isto porque quando os combustíveis fósseis são queimados, liberam gases com efeito estufa – dióxido de carbono (CO_2), retendo energia extra na atmosfera próximo à superfície da Terra, fazendo com que a temperatura do planeta aumente. Importante salientar que desde o início da Revolução Industrial – período correspondente à quando os combustíveis fósseis começaram a ser queimados em grande escala – a quantidade de CO_2 na atmosfera aumentou cerca de 50%.

O aumento na temperatura terrestre, causado pelo acréscimo das emissões dos GEE, causa o aquecimento global e às mudanças climáticas. Segundo o Relatório do IPCC sobre Mudanças Climáticas de 2023 (Ipcc, 2023), o aumento das temperaturas vai intensificar ainda mais a magnitude dessas mudanças. Cada 0,5 °C de aumento na temperatura global, por exemplo, causará aumentos visíveis na frequência e severidade do calor extremo, tempestades e secas. De forma semelhante, ondas de calor, que acontecem em média uma vez a cada dez anos em climas pouco influenciados pela atividade humana, tendem a se tornar 4,1 vezes mais frequentes com um aumento de 1,5 °C; 5,6 vezes mais frequentes em um cenário de aumento de 2 °C; e 9,4 vezes mais frequentes com um aumento de 4 °C na temperatura global. A intensidade dessas ondas de calor também vai aumentar: em 1,9 °C, 2,6 °C e 5,1 °C, respectivamente.

Em 2020, o termo "*Mudanças Climáticas*" foi substituído para "*Emergência Climática*", através do estudo *World Scientists' Warning of a Climate Emergency* (Ripple *et al.*, 2019). Tal estudo aponta que o efeito estufa foi potencializado pela emissão de poluentes provocada pelos seres humanos, o que está acelerando as mudanças no meio ambiente. Sendo necessário a rápida e eficaz substituição dos combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia, além de outras medidas complementares, visando manter o aumento da temperatura global abaixo de 1,5 °C. Esta meta é extremamente desafiadora, porém ainda é possível, mas com mudanças imediatas. Segundo (Ipcc, 2023) o mundo precisa atingir o pico das emissões de GEE no máximo até 2025, reduzi-las pela metade até 2030 e atingir o zero líquido na metade do século. Em paralelo, também é preciso assegurar uma transição justa e equitativa.

É essencial a colaboração de governos, setor privado, organizações da sociedade civil e da população em geral, para promover uma mudança estrutural, voltado para a busca por um desenvolvimento mais sustentável, tornando possível a manutenção da qualidade de vida na terra ao longo dos próximos anos. Desta forma, acordos internacionais são essenciais para garantir o comprometimentos dos países. Em 2015, foi assinado um acordo histórico, chamado Acordo de Paris, no qual cerca de 200 países se comprometeram a cumprir metas desafiadoras para conter a mudança do clima. A grande maioria dos países tem, ou tem considerado, metas líquidas zero, reforçando o compromisso global em direção a uma matriz energética mais limpa e sustentável. Os líderes mundiais também se reúnem todos os anos para discutir os seus compromissos climáticos, tais discussões são realizadas através da COP, do inglês *Conference of the Parties*. A Tabela 21 apresenta os

principais marcos de compromissos globais relacionados à temática de mudanças climáticas e desenvolvimento sustentável.

Tabela 21 – Principais Marcos de Compromissos Globais.

Ano	Fatos relevantes com relação a temática de Transição Energética ¹
1979	I Conferência Mundial sobre o Clima: surgimento do Programa Mundial do Clima e o Programa Mundial de Pesquisa do Clima.
1987	Desenvolvimento Sustentável: Conceito surge no Relatório <i>Brundtland</i> .
1988	Surgimento do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC): importante marco para a pesquisa relacionado às mudanças climáticas.
1992	ONU RIO 92: conferência reconhece importância da cooperação entre países, empresas e demais segmentos. Elaboração da <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> (UNFCCC).
1994	<i>Triple Bottom Line</i> (TBL), conceito de gestão, lançado por <i>John Elkington</i> .
1995	Conferência das Partes (COP): órgão supremo da UNFCCC que reúne os países em conferências mundiais para frear as mudanças climáticas e minimizar seus impactos.
1997	Protocolo de Quioto: Tratado internacional em que os países signatários se comprometeram a reduzir as suas respectivas emissões de gases de efeito estufa na atmosfera.
1999	<i>Dow Jones Sustainability Index</i> (DJSI): lançado na Bolsa de Nova York.
2000	Pacto Global da ONU: plataforma que encoraja empresas a contribuírem com os desafios da sociedade.
2004	ESG: conceito surge pela 1ª vez em <i>Who Care Wins</i> , do Pacto Global e do Banco Mundial.
2006	PRI (Princípios de Investimento Responsável).
2010	Norma ISO 26000 sobre responsabilidade social.
2011	Princípios Orientadores da ONU para Direitos Humanos e Empresas.
2013	Marco de Varsóvia para REDD+: recompensar financeiramente países em desenvolvimento por resultados relacionados à recuperação e conservação de suas florestas.
2015	ONU: Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Acordo de Paris: propõe aos países o corte de emissões de carbono até 2030, bem como a apresentação das Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas (iNDC, na sigla em inglês).

(continua na próxima página)

Tabela 21 – Principais Marcos de Compromissos Globais (continuação).

Ano	Fatos relevantes com relação a temática de Transição Energética ¹
2016	Apresentação dos NDCs (Nationally Determined Contributions), ou em português, contribuições nacionalmente determinadas, que são as metas e compromissos de redução de emissões de GEE de cada país.
2019	Capitalismo de <i>Stakeholder</i> é declarado pelo Fórum de Davos. Cúpula da ONU sobre Ação Climática: visa aumentar a ambição e ação climática global, com países apresentando compromissos mais ambiciosos de redução de emissões e investimentos em energia renovável.
2020	A pandemia de Covid-19 impacta de modo inédito a economia global. Apresentação das estratégias de longo prazo pelos países signatários do Acordo de Paris.
2021	Declaração de <i>Glasgow</i> (COP26): líderes mundiais reforçaram o compromisso, incluindo o aumento do investimento em energia limpa e a transição para uma economia de baixo carbono.
2023	COP28: Em decisão histórica, tratou de forma explícita o tema de combustíveis fósseis, estabelecendo objetivos globais para a transformação de sistemas energéticos rumo à neutralidade climática até 2050. Foram também aprovados o Fundo de Perdas e Danos e o Objetivo Global de Adaptação, para tratar dos impactos da mudança do clima.

Fonte: Autora, de acordo com (Ibge, 2022).

¹A trajetória de evolução dos aspectos da agenda verde é tão longa e abrangente quanto o eixo temático que agrega. Não se pretende, nesta Tabela, ser completa ou exaustiva, mas sim evidenciar alguns marcos temporais relevantes.

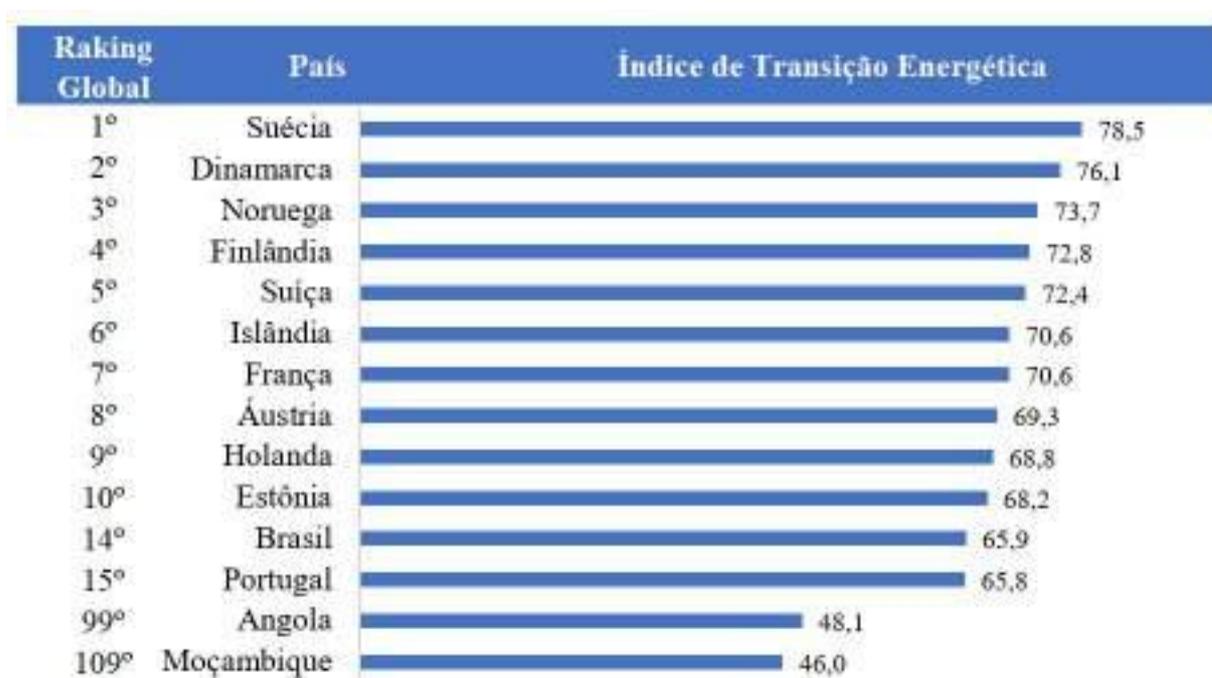
Dentro deste contexto, todos os países sofrerão o efeito das mudanças climáticas em seus territórios, principalmente, àqueles mais vulneráveis, devido a localização geográfica ou condições climáticas. Assim, a transição energética deve ser implementada e ser prioridade nas pautas políticas de todos os governos, para que os países consigam atingir as metas de descarbonização mundial. Para isto, também é necessário o financiamento e, segundo o IPCC (Ipcc, 2023), os países em desenvolvimento, sozinhos, precisarão de US\$ 127 bilhões por ano até 2030 e de US\$ 295 bilhões por ano até 2050 para se adaptar às mudanças no clima. Os fundos de adaptação, no entanto, chegaram apenas a US\$ 23 bilhões em 2017 e US\$ 46 bilhões em 2018, representando apenas 4% e 8% do financiamento climático.

É importante perceber também o papel dos países desenvolvidos no contexto da transição energética, uma vez que foram os países mais responsáveis pelas emissões globais e, ao mesmo tempo, grande parte destes países foram colonizadores no passado, tendo uma responsabilidade em oferecer apoio financeiro aos países em desenvolvimento. O IPCC conclui ainda que, com apoio suficiente, soluções de adaptação já disponíveis e

comprovadamente eficazes podem construir resiliência aos riscos climáticos e, em muitos casos, ao mesmo tempo gerar amplos benefícios para o desenvolvimento sustentável (Ipcc, 2023).

Após uma década de progresso, a transição energética estabilizou no meio da crise energética global e das volatilidades geopolíticas, de acordo com o relatório *Fostering Effective Energy Transition 2023*, do Fórum Econômico Mundial (Forum, 2023). Neste relatório, foi calculado o Índice de Transição Energética, ou do inglês *Energy Transition Index* (ETI), o qual avalia entre 120 países, com relação ao desempenho atual do seu sistema energético e à preparação do seu ambiente favorável. A Figura 40 apresenta os primeiros 10 países colocados no *ranking*, bem como a localização dos países que participaram do estudo e que também fazem parte da CPLP, a título comparativo.

Figura 40 – Índice de Transição Energética para alguns países selecionados, em 2023.



Fonte: Autora, com os dados extraídos do (Forum, 2023).

Nota-se que a pesquisa, para a definição do índice de transição energética, não envolveu grande parte dos países da CPLP. Os países Cabo Verde, Guiné-Bissau, Guiné Equatorial, São Tomé e Príncipe e Timor-Leste ficaram fora do estudo realizado pelo Fórum Econômico Mundial e, justamente, são os países que possuem a situação energética mais incipiente. Por outro lado, o estudo contemplou Angola, Brasil, Portugal e Moçambique, destacando-se que Brasil e Portugal possuem posição de destaque, quando comparados à Angola e Moçambique, conforme mostrado na Figura 40. Vale ressaltar que Angola e Moçambique são países do continente africano, evidenciando a necessidade urgente de se investir na transição energética nos países em desenvolvimento. Ademais, a África recebeu

apenas 2% dos 2,8 bilhões de dólares gastos em energias renováveis a nível mundial entre os anos de 2000 e 2020, conforme (Irena, 2023b).

Portanto, o estudo chega a conclusão que, embora tenha ocorrido um amplo progresso com relação as energias limpas e sustentáveis, existem desafios emergentes para a equidade da transição (Forum, 2023). Para que a transição energética seja feita de forma justa e inclusiva é importante que questões sociais sejam levadas em consideração. Comunidades mais vulneráveis, frequentemente marginalizadas, podem experimentar impactos desproporcionais, demandando a implementação de políticas públicas sensíveis e inclusivas. Segundo (Sovacool; Dworkin, 2015), o conceito de justiça energética implica em um processo decisório que envolvam mais segurança energética, tecnologias, novas estruturas, disponibilidade, acessibilidade financeira, entre outros fatores. A gestão eficaz desse processo complexo, também exige uma reavaliação cuidadosa do ponto de vista regulatório, sendo a adaptação de leis e regulações um item essencial para a transição energética (Arlota; Costa, 2021).

Ainda de acordo com (Irena, 2023b), uma transição energética justa e inclusiva ajudará a superar as profundas disparidades que afetam a qualidade de vida de centenas de milhões de pessoas. As políticas de transição energética devem estar alinhadas com mudanças sistêmicas e profundas, mais amplas, visando o bem-estar humano, promovendo a equidade entre países, bem como alinhar a economia global com o clima e as restrições ambientais.

Por outro lado, a transição energética oferece grandes oportunidades, principalmente relacionado a ascensão das energias renováveis, com destaque para as fontes solar e eólica (Irena, 2023b). Propiciando maior inserção destas fontes na matriz energética, contribuindo para o surgimento de novos mercados e a criação de empregos no emergente setor de energia verde. Além disso, o setor de tecnologia estará cada vez mais aquecido, como o armazenamento avançado de energia (Bouakkaz *et al.*, 2021) e as redes inteligentes, provocando uma verdadeira revolução na produção, distribuição e consumo de energia no mundo.

De uma perspectiva global, a transição energética é operacionalizada a partir de "três Ds": descarbonização, descentralização e digitalização (Di Silvestre *et al.*, 2018). A descarbonização é o processo de redução das emissões de GEE – principalmente o CO_2 – provenientes do uso de combustíveis fósseis. A descentralização é a estratégia de distribuir a geração de energia em diversas fontes e locais, em vez de concentrá-la em grandes usinas, permitindo que a energia seja gerada mais perto dos pontos de consumo, o que reduz perdas na transmissão. Por fim, a digitalização, ao incorporar tecnologias como a Internet das Coisas (IoT) e a inteligência artificial, desempenha um papel crucial na otimização dos sistemas energéticos, conferindo eficiência e flexibilidade aos processos. O comprometimento crescente com a eficiência energética, especialmente nos setores de

transporte e construção, atesta a abordagem holística da transição, transcendendo a produção até chegar ao consumo responsável de energia.

Em síntese, a transição energética transcende a esfera técnica da geração de energia, configurando-se como uma transformação profunda na percepção da utilização e interação da sociedade com a energia, por este motivo, atualmente, recebe a denotação de transformação energética. A colaboração internacional, fundamentada em políticas progressistas e sustentada por investimentos substanciais, são os principais fatores para superar os desafios e maximizar as potenciais oportunidades, no percurso em direção a um futuro junto, sustentável e resiliente (Arlota; Costa, 2021). Este trabalho tem como propósito aprofundar a compreensão sobre os elementos fundamentais envolvidos nessa transição, oferecendo uma análise crítica das motivações, dos desafios complexos e das oportunidades que permeiam esse fenômeno global, almejando um mundo ambientalmente consciente e sustentável para as gerações futuras.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DE CAPÍTULO

Neste capítulo, foi explorado o conceito da CPLP, bem como a descrição detalhada de todos seus países-membros. Aspectos como contexto histórico, aspectos políticos, econômicos, sociais e energéticos dos países são destacados. A RELOP também é apresentada, bem como seus principais objetivos estratégicos. A complexa questão da transição energética, desde suas raízes históricas até os desafios contemporâneos, no contexto das mudanças climáticas e da necessidade de sustentabilidade energética, foram exibidos, através da revisão bibliográfica realizada.

A relevância dos países da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP), neste cenário, foi evidenciado no trabalho, destacando suas realidades energéticas distintas e os esforços necessários para uma transição eficaz e equitativa. Portanto, através de uma análise *SWOT* é possível examinar os países da CPLP, de acordo com os aspectos históricos, político, econômico, humano, social e energético (Armstrong *et al.*, 2014).

A análise de *SWOT* - cuja sigla vem de *Strengths* (forças), *Weaknesses* (fraquezas), *Opportunities* (oportunidades) e *Threats* (ameaças), é utilizada para avaliar os pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças, conforme mostrado na Figura 41, com a análise realizada sobre os países da CPLP.

Figura 41 – Análise *SWOT* relacionada aos países da CPLP.

Oportunidades	Desafios
<p>FORÇAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Língua comum; ▪ Localização estratégica; ▪ Recursos naturais abundantes; ▪ Cooperação regional; ▪ Potencial energético. 	<p>FRAQUEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Desigualdades sociais; ▪ Corrupção; ▪ Dependência de recursos naturais; ▪ Infraestrutura limitada; ▪ Instabilidade política.
<p>OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cooperação econômica; ▪ Cooperação internacional; ▪ Crescimento econômico; ▪ Transição energética; ▪ Desenvolvimento do setor energético; ▪ Turismo. 	<p>AMEAÇAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Instabilidade política; ▪ Volatilidade dos preços de <i>commodities</i>; ▪ Mudanças climáticas; ▪ Dependência externa; ▪ Falta de financiamento; ▪ Desafios regulatórios.

Fonte: Autora.

Resumidamente, pode-se destacar:

1. Forças

- Língua comum: A língua portuguesa compartilhada entre os países da CPLP pode facilitar a comunicação e a colaboração em diversas áreas.
- Localização estratégica: Alguns países da CPLP estão estrategicamente posicionados geograficamente, facilitando o comércio internacional e o acesso a mercados globais.
- Recursos naturais abundantes: Alguns países da CPLP, possuem recursos naturais significativos, incluindo petróleo, gás natural, minerais e energia renovável, como solar e eólica, o que pode impulsionar o desenvolvimento econômico.
- Cooperação regional: A CPLP promove a cooperação econômica, política e cultural entre seus membros, criando oportunidades para parcerias bilaterais e programas conjuntos de desenvolvimento. Assim como a possibilidade de participarem de outros fórum em setores diferentes, tal como a RELOP.

- Potencial energético: Alguns países, como Brasil e Portugal, possuem forte potencial para desenvolver fontes de energia renovável, o que pode impulsionar a independência energética e reduzir as emissões de carbono.

2. Fraquezas

- Desigualdades sociais: Desafios sociais, incluindo pobreza e desigualdades, persistem em alguns países, impactando negativamente o desenvolvimento humano.
- Corrupção: A corrupção e a falta de transparência, em alguns estados membros, pode prejudicar a eficácia governamental e afastar investidores.
- Dependência de recursos naturais: Muitos países da CPLP ainda dependem fortemente da exportação de recursos naturais, em especial dos combustíveis fósseis, o que os torna vulneráveis a flutuações nos preços das *commodities* e choques externos.
- Infraestrutura limitada: Em muitos países da CPLP, a infraestrutura de energia é ineficiente ou subdesenvolvida, o que dificulta a oferta de eletricidade para todas as regiões e limita o acesso à energia, sendo uma barreira ao crescimento econômico e ao desenvolvimento social.
- Instabilidade política: Alguns países da CPLP enfrentam instabilidade política e social, o que pode prejudicar o ambiente de negócios e desencorajar investimentos estrangeiros.

3. Oportunidades

- Cooperação econômica: A CPLP pode ser uma plataforma para promover a cooperação econômica entre os países-membros, facilitando o comércio e os investimentos.
- Cooperação internacional: A colaboração com parceiros internacionais pode fornecer acesso a tecnologias avançadas, financiamento e expertise técnica para apoiar a transição energética nos países da CPLP.
- Crescimento econômico: O desenvolvimento de recursos energéticos pode impulsionar o crescimento econômico em países da CPLP, criando empregos e estimulando o investimento em infraestrutura, principalmente nos países em desenvolvimento.
- Transição energética: A crescente demanda por energia limpa e renovável representa uma oportunidade para os países da CPLP diversificarem suas matrizes energéticas e reduzirem as emissões de carbono.

- Desenvolvimento do setor energético: A exploração de recursos energéticos, como o gás natural em Moçambique e Angola, oferece oportunidades para impulsionar o setor energético e atrair investimentos estrangeiros.
- Turismo: A rica herança cultural compartilhada pelos países da CPLP pode criar oportunidades para o desenvolvimento do turismo, além da preservação da biodiversidade em grande parte dos países.

4. Ameaças

- Instabilidade política: A instabilidade política, em alguns países, com destaque a Guiné Equatorial, pode criar incertezas e afastar investidores e parceiros comerciais.
- Volatilidade dos preços de *commodities*: A dependência de alguns países da CPLP de *commodities* como petróleo e minerais torna suas economias vulneráveis à volatilidade dos preços no mercado global.
- Mudanças climáticas: Os impactos das mudanças climáticas, como secas, inundações e eventos climáticos extremos, representam uma ameaça significativa para a segurança energética e o desenvolvimento sustentável nos países da CPLP.
- Dependência externa: A dependência de tecnologias e combustíveis energéticos importados pode expor os países da CPLP a riscos geopolíticos e flutuações nos preços internacionais.
- Falta de financiamento: A falta de investimento em infraestrutura de energia pode retardar a transição energética nos países da CPLP, limitando seu potencial de desenvolvimento sustentável.
- Desafios regulatórios: Regulamentações governamentais inadequadas ou inconsistentes podem dificultar o investimento em energia renovável e a implementação de políticas de eficiência energética nos países da CPLP.

Em síntese, a análise *SWOT* ajuda a revelar um panorama complexo e multifacetado, com relação aos países da CPLP. Ao mesmo tempo em que as nações da CPLP apresentam recursos naturais significativos, como recursos hídricos, terras férteis e potencial para energias renováveis, também enfrentam desafios significativos, como infraestrutura insuficiente, instabilidade política e vulnerabilidade a desastres naturais. No entanto, oportunidades de desenvolvimento sustentável surgem com a transição energética, especialmente através da exploração de energias renováveis e da cooperação internacional. Para capitalizar essas oportunidades e superar os desafios, os países da CPLP precisam investir em infraestrutura, promover políticas de desenvolvimento sustentável, fortalecer a cooperação regional e internacional, além de buscar parcerias estratégicas que promovam

o crescimento econômico inclusivo e a resiliência frente aos desafios globais. Por fim, a Tabela 22 apresenta uma visão resumida sobre os dados dos países da CPLP, apresentados neste trabalho.

Os combustíveis fósseis desempenharam um papel central ao longo da história da humanidade, impulsionando o desenvolvimento industrial e econômico. No entanto, o uso descontrolado destas fontes está associado a impactos ambientais graves, incluindo a emergência climática. Diante desse cenário, a transição para fontes de energia mais limpas e sustentáveis mostra-se indispensável no contexto global. No entanto, um estudo da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), feito a partir de dados da IEA, apresentou que os subsídios a combustíveis fósseis quase dobraram em 2021, e que ainda grande parte dos países ainda continuam na contramão dos esforços necessários para se reduzir o consumo de combustíveis fósseis e evitar os efeitos mais nocivos das mudanças climáticas.

Os países da CPLP apresentam uma ampla diversidade de recursos energéticos. Enquanto alguns, como Brasil e Portugal, têm liderado esforços significativos na adoção de fontes renováveis, como a energia eólica e solar, outros, como Angola, Moçambique, Timor-Leste continuam a depender fortemente dos combustíveis fósseis. Essa disparidade ressalta a necessidade de uma abordagem diferenciada e adaptada a cada contexto, considerando as capacidades e os desafios específicos de cada país.

A transição energética não é apenas uma questão técnica ou econômica, mas também uma questão de justiça social e equidade global. Os países mais vulneráveis da CPLP enfrentam desafios adicionais, como acesso limitado à energia e resiliência às mudanças climáticas, exigindo uma abordagem holística e inclusiva. Compromissos globais, como o Acordo de Paris, representam avanços significativos na luta contra as mudanças climáticas, mas ainda é necessário um compromisso maior e ação concreta para alcançar as metas estabelecidas.

Em síntese, a transição energética representa um imperativo moral e pragmático para todos os países, inclusive os membros da CPLP. Tal transição demanda um compromisso coletivo e uma abordagem colaborativa que confronte os desafios de forma direta e explore as oportunidades emergentes. Somente por meio de esforços coordenados, investimentos substanciais e uma visão compartilhada de um futuro sustentável, será possível alcançar um mundo no qual a energia seja acessível, segura e ambientalmente limpa para as atuais e futuras gerações.

Tabela 22 – Quadro resumitivo com os dados dos países da CPLP.

País	Localização	População (2023)	Área	IDH (2020)	Acesso à Eletricidade (2020)	Geração de Energia (2020)	Produção de Eletricidade à partir de fontes de energia renováveis (2020)	Capacidade de Geração Instalada (2020)	Membro da RELOP
Angola	África Ocidental	35.981.281	1.246.700 <i>km</i> ²	0,590	46,89%	16,60 TWh	72,94%	7.344 MW	Sim
Brasil	América do Sul	218.689.757	8.515.770 <i>km</i> ²	0,758	100%	614,36 TWh	84,18%	195.000 MW	Sim
Cabo Verde	África Ocidental	603.901	4.033 <i>km</i> ²	0,662	94,16%	0,40 TWh	16,28%	205 MW	Sim
Guiné-Bissau	África Ocidental	2.078.820	36.125 <i>km</i> ²	0,483	33,33%	0,08 TWh	0%	28 MW	Não
Guiné Equatorial	África Central	1.737.695	28.051 <i>km</i> ²	0,596	66,75%	1,4 TWh	34,75%	349 MW	Não
Portugal	Sudoeste Europeu	10.223.150	92.090 <i>km</i> ²	0,863	100%	51,54 TWh	58,42%	22.400 MW	Sim
Moçambique	Sul da África	32.513.805	799.380 <i>km</i> ²	0,453	30,6%	19,34 TWh	81,95%	2.765 MW	Sim
São Tomé e Príncipe	África Central	220.372	964 <i>km</i> ²	0,619	76,55%	0,10 TWh	10,0%	28 MW	Sim
Timor-Leste	Sudeste Asiático	1.476.042	14.874 <i>km</i> ²	0,614	96,12%	0,50 TWh	0%	284 MW	Não

Fonte: Para os dados de Localização, População, Área e Capacidade de Geração Instalada: (Cia, 2023); Para os dados de IDH: (Undp, 2023); Para os dados de Acesso à Eletricidade, Geração de Energia, Produção de eletricidade à partir de Energias Renováveis: (Ritchie; Roser; Rosado, 2022); Para os dados dos países-membros da RELOP: (Relop, 2023).

3 METODOLOGIA PROPOSTA

Neste capítulo serão apresentadas as metodologias utilizadas para as análises e resolução do problema proposto neste trabalho. Para a avaliação da transição energética na CPLP, será realizada uma abordagem utilizando inferência *fuzzy*, considerando aspectos humano, sociais e eletroenergéticos, através do cálculo de um novo índice de desempenho dos países. Para este estudo, foi utilizado o *software* MATLAB – através da *toolbox Fuzzy* (Sivanandam; Sumathi; Deepa, 2007) – para o cálculo do índice, de acordo com os critérios para definição do problema, identificação das variáveis *fuzzy*, *fuzzyficação* das variáveis em questão, regras utilizadas para o sistema de inferências, sistema de avaliação em si, bem como a análise dos dados de saída do modelo implementado e o resultado final, através do processo de *defuzzyficação*.

Com o objetivo principal de obter um índice mais realístico de desenvolvimento para os países, o cálculo será realizado utilizando como referência os critérios contidos no cálculo do IDH, obtidos nos relatórios de desenvolvimento humano do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Undp, 2023), bem como os dados de energia, informados pelas fontes, Agência Central de Inteligência dos Estados Unidos (Cia, 2023) e *Our World in Data* (Ritchie; Roser; Rosado, 2022), conforme os dados contidos na Tabela 22.

Adicionalmente, o trabalho também faz uso de alguns princípios da estatística, principalmente a correlação de *Pearson* para analisar a relação entre o crescimento do uso das energias renováveis entre os países que compõem a CPLP, dentro do contexto da transição energética. Assim, foi utilizado os dados de capacidade instalada das fontes hidráulica, solar, eólica e biomassa, obtidos pela Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA) (Irena, 2023a), e também os dados de IDH, ao longo de 10 anos. Especificamente para o país Brasil, será apresentada uma análise complementar, com relação a distribuição de *Rayleigh* e *Weibull*, para a fonte de energia renovável eólica.

3.1 LÓGICA FUZZY

Os seres humanos são capazes de lidar com processos bastante complexos, baseados em informações imprecisas ou aproximadas. A estratégia adotada pelos operadores humanos é também de natureza imprecisa e geralmente possível de ser expressa em termos linguísticos. Neste contexto, a Teoria de Conjuntos *Fuzzy* e os Conceitos de Lógica *Fuzzy* podem ser utilizados para traduzir em termos matemáticos a informação imprecisa expressa por um conjunto de regras linguísticas. Portanto, sistemas *fuzzy* são áreas de pesquisa da Inteligência Artificial (IA), que permite o tratamento formal e matemático de informações imprecisas, não passíveis de processamento através da lógica computacional fundamentada na *lógica booleana*, assim o resultado é um sistema de inferência baseado em regras, no

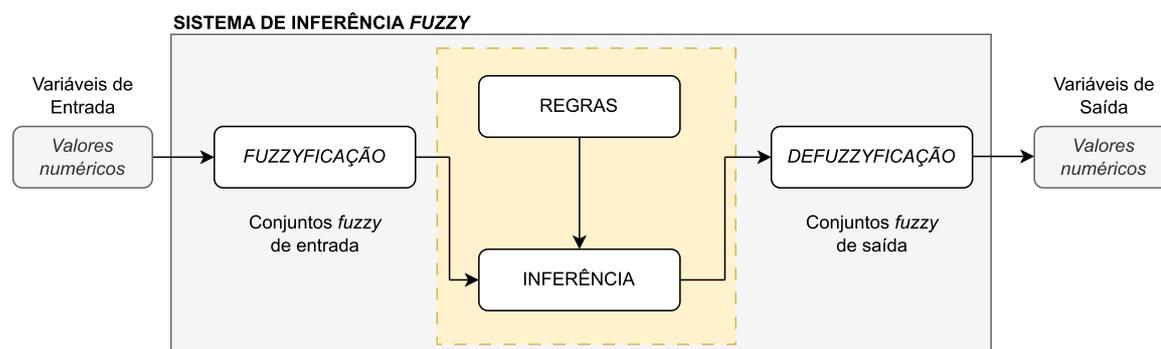
qual a lógica *fuzzy* fornece o ferramental matemático para se lidar com as tais regras linguísticas (Tanscheit, 2004).

Atualmente, técnicas de computação suave – tais como a lógica difusa, redes neurais e algoritmos genéticos – estão sendo cada vez mais adotados nas modelagens e processos de decisão, para mapear com precisão os sistemas energéticos e tomar decisões mais críticas e analíticas. Verifica-se que modelos baseados em *fuzzy* são amplamente utilizados nos últimos anos para avaliação de locais, para instalação de parques fotovoltaicos/eólicos, rastreamento de pontos de energia solar fotovoltaica/eólica, otimização entre critérios conflitantes, entre outros. Além disso, os modelos baseados em *fuzzy* fornecem estimativas realistas (Suganthi; Iniyar; Samuel, 2015). Assim o presente trabalho, faz uso da metodologia para avaliar os desempenhos dos países da CPLP, com relação a algumas variáveis de entrada, as quais são indicadores sociais e de energia, a partir de critérios para a tomada de decisão, resultando no cálculo de um novo índice, capaz de classificar os países por desempenho.

Essa teoria foi introduzida, por volta do ano de 1965, pelo matemático **Lofti A. Zadeh**, e o seu desenvolvimento, bem como suas aplicações vêm apresentando uma grande evolução ao longo dos anos. Pode-se afirmar que esta teoria já tem um lugar de destaque, com suas aplicações práticas cada vez mais bem sucedidas (Silva *et al.*, 2011). Em resumo, o objetivo da lógica *fuzzy* é fornecer uma estrutura matemática para lidar com a incerteza e a imprecisão de uma forma mais próxima à maneira como os seres humanos pensam e tomam decisões, permitindo que sistemas baseados em lógica *fuzzy* sejam mais robustos e adaptáveis a uma variedade de situações da realidade.

O processo metodológico da lógica *fuzzy* abrange diversas etapas cruciais para uma análise precisa e abrangente. Inicialmente, é essencial a definição minuciosa das variáveis pertinentes ao sistema em estudo, bem como a compreensão de suas inter-relações. Posteriormente, são desenvolvidos conjuntos *fuzzy* para cada uma das variáveis, permitindo a representação da incerteza inerente aos dados coletados. Na sequência, a aplicação de operadores *fuzzy*, desempenham um papel crucial na manipulação e processamento das informações, possibilitando operações de raciocínio eficazes. Por fim, a etapa de inferência *fuzzy* é implementada, na qual regras de decisão baseadas na lógica *fuzzy* são aplicadas para gerar resultados interpretáveis e relevantes para o contexto da pesquisa. Tais etapas metodológicas são detalhadas no Apêndice A, sendo essenciais para a modelagem de sistemas complexos, permitindo a consideração adequada da imprecisão dos dados, bem como fornecer uma abordagem robusta e eficiente para abordar problemas reais. Os processos são representados através do fluxograma da Figura 42.

Figura 42 – Fluxograma para a modelagem baseada na Lógica *Fuzzy*.



Fonte: Autora, baseada em (Tanscheit, 2004).

As etapas descritas no fluxograma da Figura 42, aplicadas ao contexto do problema proposto neste trabalho, serão detalhadas nas próximas subseções, partindo do levantamento e seleção de dados, apresentando a transformação dos indicadores sociais e de energia em variáveis *fuzzy*, bem como o processo de *fuzzyficação*, sistema de inferência e, por fim, o resultado final, com o cálculo do novo índice proposto.

Desta forma, neste trabalho, o objetivo com a escolha da lógica *fuzzy*, para definir um novo índice de desenvolvimento para os países selecionados da CPLP, é expandir os conceitos abordados pelo índice já existente, IDH, e levar em consideração também indicadores relativos à energia, tendo um resultado mais realístico do desenvolvimento do país com relação aos aspectos sociais e eletroenergéticos, alinhado a necessidade urgente de adaptação ao contexto da transição energética.

3.1.1 Levantamento e seleção de dados

Visando a implementação de um sistema *fuzzy*, o primeiro passo é o levantamento e seleção dos dados que serão utilizados como variáveis de entrada. Portanto, a seguir serão definidos os indicadores que foram utilizados como critérios para a análise dos processo de *fuzzyficação* e implementação do novo índice desenvolvido no trabalho proposto.

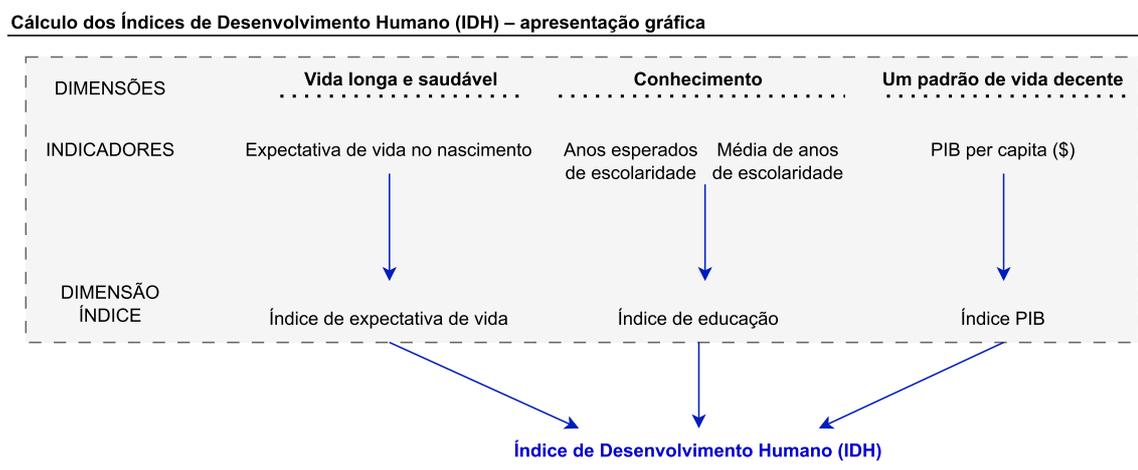
Os parâmetros utilizados como variáveis de entrada neste trabalho são (i) Índice de Desenvolvimento Humano (IDH); (ii) Acesso à eletricidade; (iii) Geração de energia; (iv) Produção de eletricidade à partir de fontes de energia renováveis; (v) Capacidade de geração instalada são avaliados a partir das definições:

1. Indicador Social

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), é uma medida composta que avalia o progresso humano em termos de saúde, educação e economia. O IDH é utilizado como o indicador social utilizado neste trabalho, como uma das variáveis de entrada

para o sistema *fuzzy*, sendo amplamente reconhecido como uma ferramenta essencial para avaliar o bem-estar das populações em todo o mundo (Pnud, 2023). A Figura 43 apresenta um fluxograma representativo, a partir das três dimensões que formam o cálculo do IDH.

Figura 43 – Fluxograma para o cálculo do IDH.



Fonte: Autora, baseada em (Pnud, 2023).

Portanto, as três dimensões do IDH podem ser definidas, tais como:

- **Saúde:** *Vida longa e saudável*

A dimensão relacionado a saúde, medida pela expectativa de vida no nascimento, constitui um dos componentes importantes do IDH, refletindo não apenas a disponibilidade e qualidade de serviços médicos, mas também as condições socioeconômicas e ambientais que afetam a qualidade de vida das pessoas.

- **Educação:** *Conhecimento*

A dimensão relacionado a educação, medida através dos anos esperados de escolaridade e média de anos de escolaridade, é um fator fundamental na determinação do IDH, sendo avaliada pela taxa de alfabetização e a taxa de matrícula escolar, que refletem o acesso e a qualidade da educação em uma sociedade.

- **Economia:** *Um padrão de vida decente*

A dimensão relacionado a economia, o padrão de vida é outro aspecto crítico do IDH, medido pelo Produto Interno Bruto (PIB) per capita, ajustado ao poder de compra. Essa medida não apenas considera o aspecto econômico do desenvolvimento, mas também leva em conta a distribuição de renda, refletindo a capacidade das pessoas de terem acesso a bens e serviços essenciais.

O cálculo do IDH é detalhado no Apêndice B, conforme metodologia utilizada pela (Pnud, 2023). Neste contexto, ao longo das últimas décadas, o IDH tem sido uma ferramenta valiosa para avaliar o progresso humano em níveis global, regional e nacional. A análise do IDH fornece informações importantes sobre as disparidades entre países e regiões, destacando as áreas que requerem intervenções prioritárias para melhorar a qualidade de vida das população. Ademais, o IDH tem sido fundamental para orientar políticas públicas e iniciativas de desenvolvimento, ajudando os governos e organizações internacionais a direcionarem recursos de forma mais eficaz para promover o bem-estar humano e, conseqüentemente, o desenvolvimento de uma nação.

Apesar de suas contribuições significativas, o IDH é uma medida simplificada do desenvolvimento humano e não abrange todas as dimensões importantes, negligenciando aspectos importantes, como direitos humanos, liberdades políticas, igualdade de gênero e sustentabilidade ambiental. No entanto, ainda continua sendo uma ferramenta valiosa para avaliar e comparar o progresso humano em diferentes países ao longo dos anos.

2. Indicadores de Energia

O mundo enfrenta dois desafios prementes, por um lado, limitar o aquecimento global a 1,5 °C; por outro, permitindo um desenvolvimento socioeconômico inclusivo e equitativo. Tais desafios não devem ser vistos como conflitantes, mas devem ser abordados simultaneamente. Neste contexto, a solução pode residir na transição para sistemas de energia sustentáveis e renováveis. A transição energética compreende pressupostos de eficiência energética, acessibilidade, confiabilidade e independência energética. Particularmente, nos países em desenvolvimento, implica expectativas de desenvolvimento econômico, inclusão social e sustentabilidade ambiental. Dado que a maior parte do potencial restante de energia renovável reside nos países em desenvolvimento, estes desempenharão um papel crucial. Concisamente, a transição pode ser alcançada através da adoção e implementação de tecnologias já disponíveis comercialmente que melhorem a eficiência, a acessibilidade e a confiabilidade dos sistemas energéticos, redefinindo e recuperando a participação da sociedade no planejamento energético e na elaboração de políticas, bem como através da reestruturação democrática das instituições e monitorização para aumentar a transparência, a responsabilização e a confiança (Vanegas Cantarero, 2020).

Assim, os demais indicadores utilizados como base para o estudo deste trabalho são dados relativos à **energia**. A energia desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico e socioambiental dos países, especialmente em meio à transição energética global (Mazur, 2011). Em um contexto no qual a sustentabilidade e a adaptação as mudanças climáticas são prioritárias, a busca por fontes

de energia renováveis torna-se imperativa. A energia é essencial para impulsionar a industrialização, garantir o acesso à eletricidade em áreas remotas, promover o desenvolvimento tecnológico e melhorar a qualidade de vida da sociedade. Além disso, a transição para fontes de energia mais sustentáveis não só reduz as emissões de GEE, mas também cria oportunidades econômicas, gerando empregos e estimulando a inovação (Solomon; Krishna, 2011). Portanto, investir em energia limpa e eficiente não apenas fortalece a segurança energética, mas também é um pilar essencial para o desenvolvimento sustentável e inclusivo dos países.

Os indicadores relacionados à energia neste trabalho auxiliarão, como variáveis de entrada para o sistema *fuzzy*, o cálculo do novo índice de acordo com o contexto da transição energética, levando em consideração os dados de cada país da CPLP, com relação ao acesso à eletricidade, geração de energia, produção de eletricidade à partir de fontes de energia renováveis e capacidade de geração instalada, que serão definidas a seguir:

- **Acesso à eletricidade**

A eletricidade é crucial para a redução da pobreza, o crescimento econômico e a melhoria dos padrões de vida (Panos; Densing; Volkart, 2016), por isso, o primeiro indicador a ser utilizado neste trabalho é o acesso que os países da CPLP possuem à eletricidade. Os dados foram retirados no *website Our World in Data* (Ritchie; Roser; Rosado, 2022), através de dados compilados de múltiplas fontes pelo Banco Mundial.

Medir a percentagem de pessoas com acesso à eletricidade é crucial como indicador social e econômico. Embora o conceito não tenha uma definição universal, geralmente envolve a disponibilidade de eletricidade, instalações seguras para cozinhar e um nível mínimo de consumo. Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), o acesso à eletricidade vai além do fornecimento básico, incluindo a obrigação de consumir uma quantidade mínima, que difere se a população é pertencente à zona rural ou urbana, e aumentando ao longo do tempo. O limite mínimo é inferior para os núcleos familiares rurais e mais elevado para os urbanos (Iea, 2016).

Globalmente, a proporção de pessoas com acesso à eletricidade aumentou progressivamente nas últimas décadas. Em 2000, cerca de 20% da população mundial não tinha acesso à eletricidade, mas desde então, esse número reduziu significativamente, com menos de 10% sem acesso nos últimos anos. Tal crescimento foi impulsionado principalmente pelo desenvolvimento econômico em países de baixa e média renda. No entanto, apesar dessa tendência positiva na maioria dos países, ainda há regiões nas quais a maioria da população permanece sem acesso à eletricidade (Ritchie; Roser; Rosado, 2022). Portanto,

ter acesso à eletricidade é definido nas estatísticas internacionais como ter uma fonte de eletricidade que pode fornecer iluminação básica satisfatória e carregar um telefone ou ligar um rádio durante ao menos 4 horas por dia e, este conceito foi adotado para o desenvolvimento desta pesquisa.

- **Geração de Energia**

O segundo indicador utilizado na pesquisa é a capacidade de um país na geração de energia, ou seja, a eletricidade anual gerada expressa em TW/h . A discrepância entre a quantidade de eletricidade gerada e/ou importada e a quantidade consumida e/ou exportada é contabilizada como perda na transmissão e distribuição.

Embora os termos “*eletricidade*” e “*energia*” sejam frequentemente utilizados de forma intercambiável, é importante compreender que a eletricidade é apenas um componente do consumo total de energia. Os dados foram retirados no *website Our World in Data* (Ritchie; Roser; Rosado, 2022), através de dados compilados das fontes *Ember - Yearly Electricity Data* (2023); *Ember - European Electricity Review* (2022); *Energy Institute - Statistical Review of World Energy* (2023).

- **Produção de eletricidade à partir de fontes de energia renováveis**

Devido a todo o destaque para a temática de transição energética, um indicador importante para a análise dos países é o quanto da eletricidade provém de energias renováveis, isto é, a parcela de energias renováveis que compõe o *mix* elétrico do país. Este indicador aponta a capacidade do país de produzir energia a partir de fontes de energia renováveis, tais como, hidrelétricas, solares, eólicas, biomassa e resíduos, geotérmicas, das ondas e das marés.

Importante destacar que, dado que o setor dos transportes e de aquecimento tendem a ser mais difíceis de descarbonizar – são mais dependentes do petróleo e do gás – as energias renováveis tendem a ter uma participação mais elevada no setor elétrico do que no energético total. Globalmente, quase um terço da eletricidade provém de energias renováveis. Os dados foram retirados no *website Our World in Data* (Ritchie; Roser; Rosado, 2022), através de dados compilados das fontes *Ember - Yearly Electricity Data* (2023); *Ember - European Electricity Review* (2022); *Energy Institute - Statistical Review of World Energy* (2023).

- **Capacidade de Geração Instalada**

Por fim, o último indicador utilizado na pesquisa foi a capacidade de geração instalada, que expressa a capacidade total de geração de energia elétrica atualmente operacional de um país, expressa em MW . A saber, um kW produz uma hora de eletricidade continuamente, comumente referida como kWh . Os dados foram retirados no *website* da Agência Central de Inteligência dos Estados Unidos (Cia, 2023).

Desta forma, a modelagem do problema proposto pode ser dado através da metodologia da lógica *fuzzy* abordada no Apêndice A, utilizando como variáveis de entrada os indicadores, IDH, acesso à eletricidade, geração de energia, produção de eletricidade a partir de fontes renováveis e capacidade de geração instalada, para cada um dos países da CPLP, representados pelos conjuntos das Equação 3.1.

$$\text{IDH} = X_i = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9\} \quad (3.1a)$$

$$\text{Acesso à eletricidade} = Y_i = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9\} \quad (3.1b)$$

$$\text{Geração de Energia} = Z_i = \{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7, z_8, z_9\} \quad (3.1c)$$

$$\text{Produção de Eletricidade a partir de Fontes Renováveis} = A_i = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9\} \quad (3.1d)$$

$$\text{Capacidade de Geração Instalada} = B_i = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9\} \quad (3.1e)$$

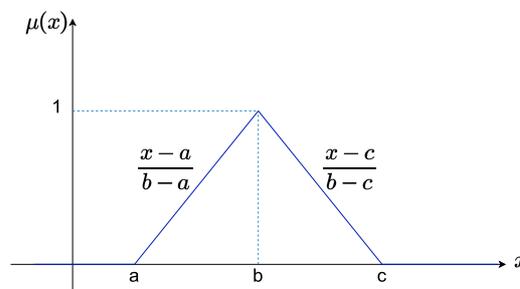
onde, os índices de $i = \{1, 2, 3, \dots, 9\}$ representam os nove países da CPLP estudados nesta pesquisa.

3.1.2 Transformando os indicadores em variáveis *fuzzy*

Os indicadores utilizados como variáveis de entrada para o sistema *fuzzy*, devem ser transformados em variáveis *fuzzy*, ou seja, cada variável de entrada X_i , Y_i , Z_i , A_i e B_i deve ser caracterizada por um conjunto de valores possíveis em seu universo de discurso $U(X_i)$, $U(Y_i)$, $U(Z_i)$, $U(A_i)$ e $U(B_i)$, respectivamente, os quais são particionados em conjuntos *fuzzy* representativos.

Portanto, as variáveis de entrada foram transformadas em variáveis linguísticas, utilizadas para definir a variável *fuzzy* do problema proposto. Neste caso, como função de pertinência adotou-se a função triangular, cuja modelagem pode ser observada em detalhes no Apêndice A e, de forma resumida, na Figura 44.

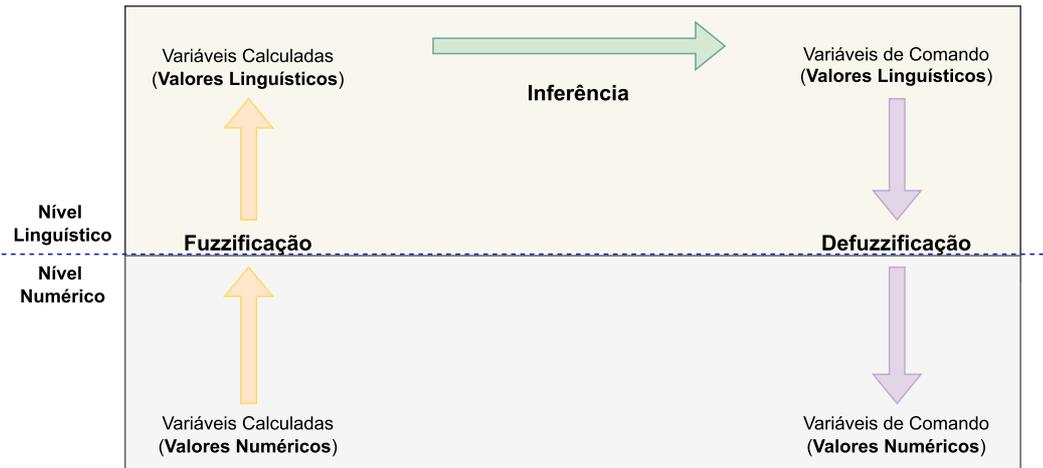
Figura 44 – Cálculo através da função de pertinência triangular *fuzzy*.



Fonte: Autora, baseada em (Guimarães, 2017).

A Figura 45 esboça as etapas do raciocínio utilizado pela lógica *fuzzy*.

Figura 45 – Raciocínio para a transformação das variáveis de entrada em variáveis *fuzzy*.



Fonte: Autora, baseada em (Tanscheit, 2004).

A seguir será apresentado a modelagem *fuzzy* utilizada para cada uma das variáveis de entrada:

- **Modelagem para a variável IDH: X_i**

Para a variável de entrada, Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), X_i , o conjunto *fuzzy*: Baixo (B); Médio (M) e Alto (A) pode ser calculado através das Equação 3.2.

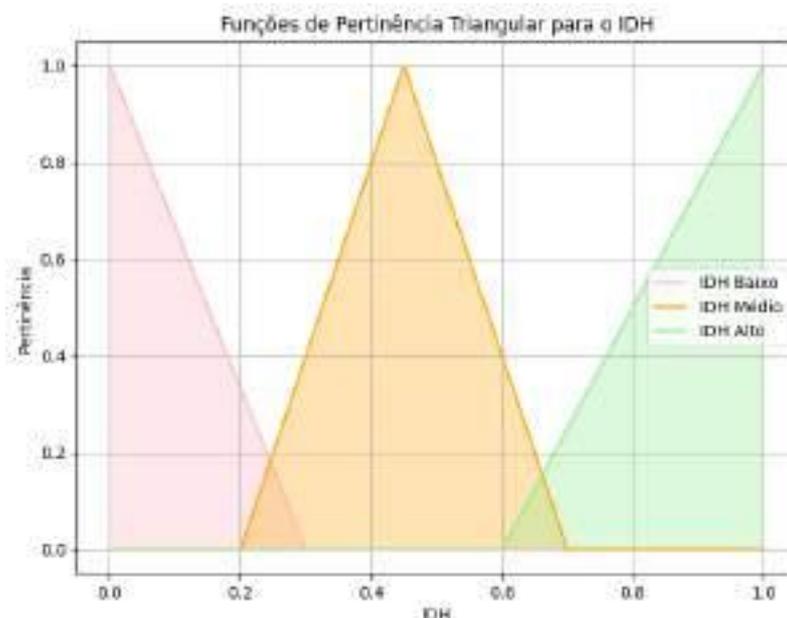
$$U(X_i) = [0,1] \quad (3.2a)$$

$$B(X_i) = (x_i, \mu_B(x_i)) \mid 0 \leq x_i \leq 0,3 \therefore \mu_B(x_i) = \begin{cases} -3,33x_i + 1 & \text{se } 0 \leq x_i \leq 0,3 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.2b)$$

$$M(X_i) = (x_i, \mu_M(x_i)) \mid 0,2 \leq x_i \leq 0,7 \therefore \mu_M(x_i) = \begin{cases} 4x_i - 0,8 & \text{se } 0,2 \leq x_i \leq 0,45 \\ -4x_i + 2,8 & \text{se } 0,45 < x_i \leq 0,7 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.2c)$$

$$A(X_i) = (x_i, \mu_A(x_i)) \mid 0,6 \leq x_i \leq 1 \therefore \mu_A(x_i) = \begin{cases} 2,5x_i - 1,5 & \text{se } 0,6 \leq x_i \leq 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.2d)$$

Portanto, o IDH é considerado como variável *fuzzy* de entrada para o modelo de inferência *fuzzy* desenvolvido, com três variáveis linguísticas: Baixo (B), $0 \leq x_i \leq 0,3$; Médio (M): $0,2 \leq x_i \leq 0,7$ e Alto (A): $0,6 \leq x_i \leq 1$, sendo os intervalos adotados nesta pesquisa, conforme mostrado na Figura 46.

Figura 46 – Modelagem *Fuzzy* para a variável IDH.

Fonte: Autora.

- **Modelagem para a variável acesso à eletricidade: Y_i**

Para a variável de entrada, acesso à eletricidade, Y_i , o conjunto *fuzzy*: Ruim (*ruim*); Regular (*regular*) e Bom (*bom*) pode ser definido conforme a Equação 3.3.

$$U(Y_i) = [0,1] \quad (3.3a)$$

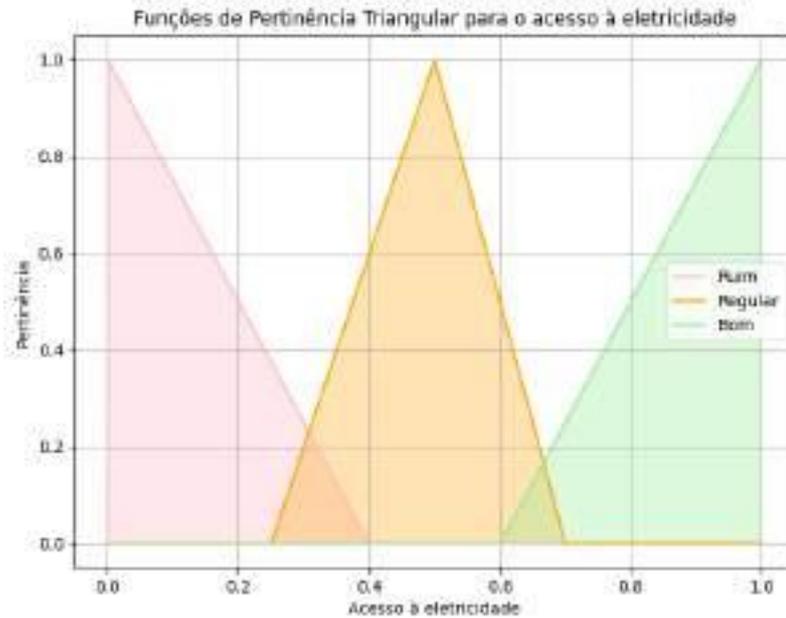
$$\text{ruim}(Y_i) = (y_i, \mu_{\text{ruim}}(y_i)) \mid 0 \leq y_i \leq 0,4 \therefore \mu_{\text{ruim}}(y_i) = \begin{cases} -2,5y_i + 1 & \text{se } 0 \leq y_i \leq 0,4 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.3b)$$

$$\text{regular}(Y_i) = (y_i, \mu_{\text{regular}}(y_i)) \mid 0,25 \leq y_i \leq 0,7 \therefore \mu_{\text{regular}}(y_i) = \begin{cases} 4y_i - 1 & \text{se } 0,25 \leq y_i \leq 0,5 \\ -5y_i + 3,5 & \text{se } 0,5 < y_i \leq 0,7 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.3c)$$

$$\text{bom}(Y_i) = (y_i, \mu_{\text{bom}}(y_i)) \mid 0,6 \leq y_i \leq 1 \therefore \mu_{\text{bom}}(y_i) = \begin{cases} 2,5y_i - 1,5 & \text{se } 0,6 \leq y_i \leq 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.3d)$$

Portanto, o acesso à eletricidade é considerado como variável *fuzzy* de entrada para o modelo de inferência *fuzzy* desenvolvido, com três variáveis linguísticas: Ruim (*ruim*), $0 \leq y_i \leq 0,4$; Regular (*regular*): $0,25 \leq y_i \leq 0,7$ e Bom (*bom*): $0,6 \leq y_i \leq 1$, sendo os intervalos adotados nesta pesquisa, conforme mostrado na Figura 47.

Figura 47 – Modelagem *Fuzzy* para a variável acesso à eletricidade.



Fonte: Autora.

- Modelagem para a variável geração de energia: Z_i

Para a variável de entrada, geração de energia, Z_i , o conjunto *fuzzy*: Ruim (*ruim*); Regular (*regular*) e Bom (*bom*) pode ser definido conforme a Equação 3.4.

$$U(Z_i) = [0,1] \quad (3.4a)$$

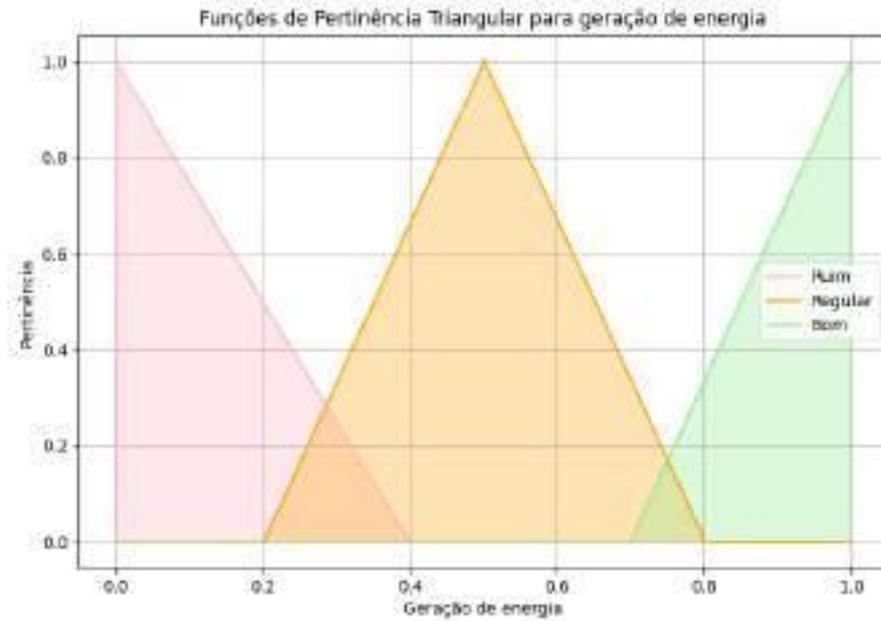
$$\text{ruim}(Z_i) = (z_i, \mu_{\text{ruim}}(z_i)) \mid 0 \leq z_i \leq 0,4 \therefore \mu_{\text{ruim}}(z_i) = \begin{cases} -2,5z_i + 1 & \text{se } 0 \leq z_i \leq 0,4 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.4b)$$

$$\text{regular}(Z_i) = (z_i, \mu_{\text{regular}}(z_i)) \mid 0,2 \leq z_i \leq 0,8 \therefore \mu_{\text{regular}}(z_i) = \begin{cases} 3,33z_i - 0,67 & \text{se } 0,2 \leq z_i \leq 0,5 \\ -3,33z_i + 2,67 & \text{se } 0,5 < z_i \leq 0,8 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.4c)$$

$$\text{bom}(Z_i) = (z_i, \mu_{\text{bom}}(z_i)) \mid 0,7 \leq z_i \leq 1 \therefore \mu_{\text{bom}}(z_i) = \begin{cases} 3,33z_i - 2,33 & \text{se } 0,7 \leq z_i \leq 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.4d)$$

Portanto, a geração de energia é considerada como variável *fuzzy* de entrada para o modelo de inferência *fuzzy* desenvolvido, com três variáveis linguísticas: Ruim (*ruim*), $0 \leq z_i \leq 0,4$; Regular (*regular*): $0,2 \leq z_i \leq 0,8$ e Bom (*bom*): $0,7 \leq z_i \leq 1$, sendo os intervalos adotados nesta pesquisa, conforme mostrado na Figura 48.

Figura 48 – Modelagem *Fuzzy* para a variável geração de energia.



Fonte: Autora.

- Modelagem para a variável produção de eletricidade à partir de fontes de energia renováveis: A_i

Para a variável de entrada, produção de eletricidade à partir de fontes de energia renováveis, A_i , o conjunto *fuzzy*: Ruim (*ruim*); Regular (*regular*) e Bom (*bom*) pode ser definido conforme a Equação 3.5.

$$U(A_i) = [0,1] \quad (3.5a)$$

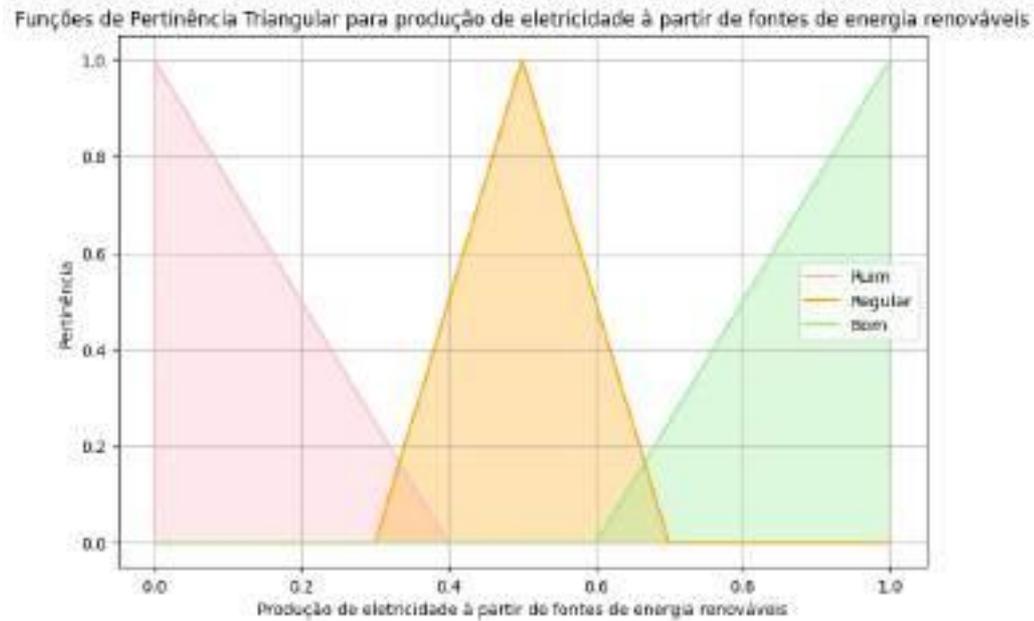
$$\text{ruim}(A_i) = (a_i, \mu_{ruim}(a_i)) \mid 0 \leq a_i \leq 0,4 \therefore \mu_{ruim}(a_i) = \begin{cases} -2,5a_i + 1 & \text{se } 0 \leq a_i \leq 0,4 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.5b)$$

$$\text{regular}(A_i) = (a_i, \mu_{regular}(a_i)) \mid 0,3 \leq a_i \leq 0,7 \therefore \mu_{regular}(a_i) = \begin{cases} 5a_i - 1,5 & \text{se } 0,3 \leq a_i \leq 0,5 \\ -5a_i + 3,5 & \text{se } 0,5 < a_i \leq 0,7 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.5c)$$

$$\text{bom}(A_i) = (a_i, \mu_{bom}(a_i)) \mid 0,6 \leq a_i \leq 1 \therefore \mu_{bom}(a_i) = \begin{cases} 2,5a_i - 1,5 & \text{se } 0,6 \leq a_i \leq 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.5d)$$

Portanto, a produção de eletricidade à partir de fontes de energia renováveis é considerada como variável *fuzzy* de entrada para o modelo de inferência *fuzzy* desenvolvido, com três variáveis linguísticas: Ruim (*ruim*), $0 \leq a_i \leq 0,4$; Regular (*regular*): $0,3 \leq a_i \leq 0,7$ e Bom (*bom*): $0,6 \leq a_i \leq 1$, sendo os intervalos adotados nesta pesquisa, conforme mostrado na Figura 48.

Figura 49 – Modelagem *Fuzzy* para a variável produção de eletricidade à partir de fontes de energia renováveis.



Fonte: Autora.

- Modelagem para a variável capacidade de geração instalada: B_i

Para a variável de entrada, capacidade de geração instalada, B_i , o conjunto *fuzzy*: Ruim (ruim); Regular (regular) e Bom (bom) pode ser definido conforme a Equação 3.6.

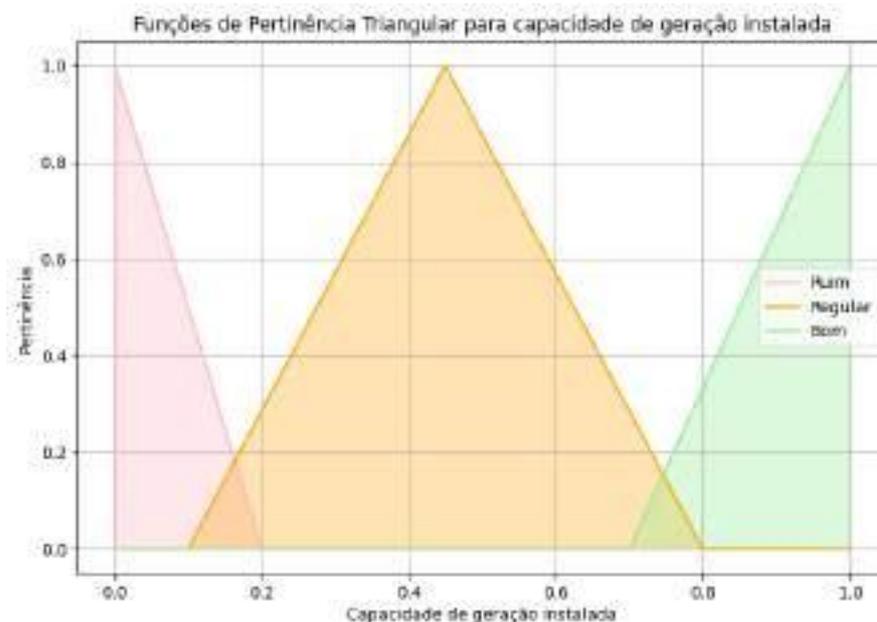
$$U(B_i) = [0,1] \quad (3.6a)$$

$$\text{ruim}(B_i) = (b_i, \mu_{\text{ruim}}(b_i)) \mid 0 \leq b_i \leq 0,2 \therefore \mu_{\text{ruim}}(b_i) = \begin{cases} -5b_i + 1 & \text{se } 0 \leq b_i \leq 0,2 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.6b)$$

$$\text{regular}(B_i) = (b_i, \mu_{\text{regular}}(b_i)) \mid 0,1 \leq b_i \leq 0,8 \therefore \mu_{\text{regular}}(b_i) = \begin{cases} 2,86b_i - 0,286 & \text{se } 0,1 \leq b_i \leq 0,45 \\ -2,86b_i + 2,286 & \text{se } 0,45 < b_i \leq 0,8 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.6c)$$

$$\text{bom}(B_i) = (b_i, \mu_{\text{bom}}(b_i)) \mid 0,7 \leq b_i \leq 1 \therefore \mu_{\text{bom}}(b_i) = \begin{cases} 3,33b_i - 2,33 & \text{se } 0,7 \leq b_i \leq 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.6d)$$

Portanto, a capacidade de geração instalada é considerada como variável *fuzzy* de entrada para o modelo de inferência *fuzzy* desenvolvido, com três variáveis linguísticas: Ruim (ruim), $0 \leq b_i \leq 0,2$; Regular (regular): $0,1 \leq b_i \leq 0,8$ e Bom (bom): $0,7 \leq b_i \leq 1$, sendo os intervalos adotados nesta pesquisa, conforme mostrado na Figura 48.

Figura 50 – Modelagem *Fuzzy* para a variável capacidade de geração instalada.

Fonte: Autora.

A Tabela 23 resume as informações sobre as variáveis linguísticas *fuzzy* descritas anteriormente, apresentando também uma descrição interpretativa sobre as faixas que cada variável abarca.

Tabela 23 – Variáveis linguísticas *fuzzy*.

	Categoria	Faixa	Descrição
IDH (X_i)	Baixo	$0 \leq x_i \leq 0,3$	Países com sérias deficiências em desenvolvimento humano, com acesso precário a saúde e educação, além de altas taxas de pobreza e vulnerabilidade a crises econômicas e sociais.
	Médio	$0,2 \leq x_i \leq 0,7$	Países com um desenvolvimento humano intermediário, com acesso restrito a serviços de saúde e educação, enfrentando desafios no desenvolvimento social e econômico.
	Alto	$0,6 \leq x_i \leq 1$	Países com alto padrão de vida e desenvolvimento humano, oferecendo amplo acesso a serviços de saúde e educação de qualidade.

(continua na próxima página)

Tabela 23: Variáveis linguísticas *fuzzy* (Continuação).

	Categoria	Faixa	Descrição
Acesso à Eletricidade (Y_i)	Ruim	$0 \leq y_i \leq 0,4$	Países que enfrentam desafios, como interrupções frequentes, infraestrutura precária e falta de eletrificação em áreas rurais.
	Regular	$0,25 \leq y_i \leq 0,7$	Países que a eletricidade está disponível de forma mais consistente, mas com interrupções ocasionais, especialmente em áreas remotas ou durante condições climáticas adversas.
	Bom	$0,6 \leq y_i \leq 1$	Países que desfrutam de infraestrutura robusta e confiável, amplamente disponível em todo o território, inclusive áreas rurais.
Geração de Energia (Z_i)	Ruim	$0 \leq z_i \leq 0,4$	Países com desafios significativos em fornecer eletricidade de forma confiável e sustentável, com instalações obsoletas e baixa capacidade de produção.
	Regular	$0,2 \leq z_i \leq 0,8$	Países capazes de fornecer eletricidade de forma relativamente estável. As instalações de geração são mais modernas e eficientes, embora ainda possam existir algumas limitações.
	Bom	$0,7 \leq z_i \leq 1$	Países com infraestrutura avançada e diversificada, capaz de atender às demandas de energia de forma eficiente e sustentável.
Produção Energia Renovável (A_i)	Ruim	$0 \leq a_i \leq 0,4$	Países com desafios significativos, dependência contínua de combustíveis fósseis e falta de investimentos em energias limpas.
	Regular	$0,3 \leq a_i \leq 0,7$	Países produzem eletricidade a partir de fontes renováveis, mas com limitações, poucos projetos e investimentos em fontes renováveis, e ainda dependente de combustíveis fósseis.

(continua na próxima página)

Tabela 23: Variáveis linguísticas *fuzzy* (Continuação).

	Categoria	Faixa	Descrição
	Bom	$0,6 \leq a_i \leq 1$	Países com produção robusta de eletricidade renovável, infraestrutura avançada em energia solar, eólica, hidrelétrica e biomassa, entre outras, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis.
	Ruim	$0 \leq b_i \leq 0,2$	Países enfrentam desafios na capacidade de geração instalada devido à falta de investimentos, resultando em capacidade insuficiente para atender à demanda.
Capacidade de Geração Instalada (B_i)	Regular	$0,1 \leq b_i \leq 0,8$	Países com uma geração instalada regular, possuem uma infraestrutura energética funcional, embora com algumas limitações.
	Bom	$0,7 \leq b_i \leq 1$	Países possuem uma infraestrutura energética robusta, com capacidade de geração instalada suficiente para atender à demanda atual e futura, devido a investimentos substanciais em expansão e modernização.

Fonte: Autora.

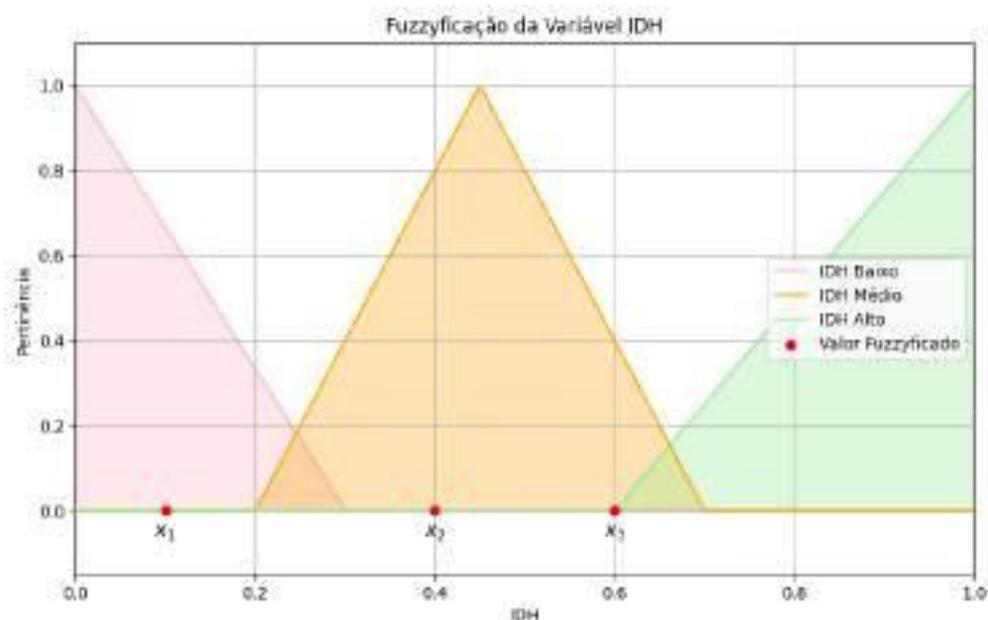
3.1.3 Tratamento das informações - *fuzzyficação* de variáveis

Dado a variável de entrada x_i (IDH) para uma variável *fuzzy* X_i , determina-se o grau de pertinência em cada conjunto *fuzzy* por Baixo (B), Médio (M) e Alto (A), usando suas respectivas funções de pertinência $\mu_B(x_i)$, $\mu_M(x_i)$ e $\mu_A(x_i)$. De forma similar, para as demais variáveis de entrada y_i (acesso à eletricidade), z_i (geração de energia), a_i (produção de eletricidade à partir de fontes de energia renováveis) e b_i (capacidade de geração instalada) para as variáveis *fuzzy* Y_i , Z_i , A_i e B_i , determina-se o grau de pertinência em cada conjunto *fuzzy* como ruim, regular e bom, usando suas respectivas funções de pertinência $\mu_{\text{ruim}}(y_i)$, $\mu_{\text{regular}}(y_i)$ e $\mu_{\text{bom}}(y_i)$; $\mu_{\text{ruim}}(z_i)$, $\mu_{\text{regular}}(z_i)$ e $\mu_{\text{bom}}(z_i)$; $\mu_{\text{ruim}}(a_i)$, $\mu_{\text{regular}}(a_i)$ e $\mu_{\text{bom}}(a_i)$; $\mu_{\text{ruim}}(b_i)$, $\mu_{\text{regular}}(b_i)$ e $\mu_{\text{bom}}(b_i)$. Todas as funções de pertinência foram definidas nas Equação 3.2, Equação 3.3, Equação 3.4, Equação 3.5 e Equação 3.6 a partir das quais as variáveis podem ser *fuzzyficadas*.

A exemplificar, o processo de *fuzzyficação* de variáveis, para o indicador IDH, pode ser observado na Figura 51, a qual apresenta os valores *fuzzyficados*, usando as funções

de pertinência triangular definidas anteriormente. Todos os conceitos aplicados para a *fuzzyficação* das variáveis do IDH, serão replicados para os demais indicadores estudados nesta pesquisa.

Figura 51 – Modelagem *Fuzzy* para a variável capacidade de geração instalada.



Fonte: Autora.

Após o processo de *fuzzyficação* das variáveis é necessário definir as regras que serão consideradas para o sistema de inferência *fuzzy*. Neste contexto, além de definir os dados de entrada e saída para o sistema, também é preciso organizar a interdependência e relação entre estas variáveis, através de regras. Portanto, as regras *fuzzy* são essenciais para determinar como as variáveis de entrada se relacionam com a variável de saída em um sistema *fuzzy*. A formulação das regras selecionadas são definidas com base no conhecimento sobre o domínio do problema proposto e podem ser expressas em linguagem natural. Por exemplo, para a avaliação da transição energética dos países da CPLP, proposto nesta pesquisa, uma amostragem de regras possíveis a serem aplicadas no sistema *fuzzy* podem ser descritas conforme a Tabela 24.

Tabela 24 – Representação das Regras *Fuzzy*.

Indicador	Regra 1	Regra 2	Regra 3	Regra 4	Regra 5	Regra 6	Regra 7	Regra 8	Regra 9	Regra 10	Regra n
IDH	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	Médio	Médio	Médio	Alto	Alto	Alto	...
Acesso à eletricidade	Ruim	Regular	Bom	Bom	Ruim	Ruim	Regular	Bom	Bom	Bom	...
Geração de Energia	Ruim	Regular	Bom	Bom	Bom	Ruim	Regular	Bom	Bom	Regular	...
Produção de eletricidade (energia renováveis)	Ruim	Regular	Bom	Bom	Regular	Regular	Regular	Bom	Ruim	Regular	...
Capacidade de Geração Instalada	Ruim	Regular	Bom	Bom	Regular	Bom	Regular	Bom	Ruim	Ruim	...
Novo Índice	Baixo	Baixo	Médio	Alto	Médio	Baixo	Médio	Alto	Médio	Alto	...

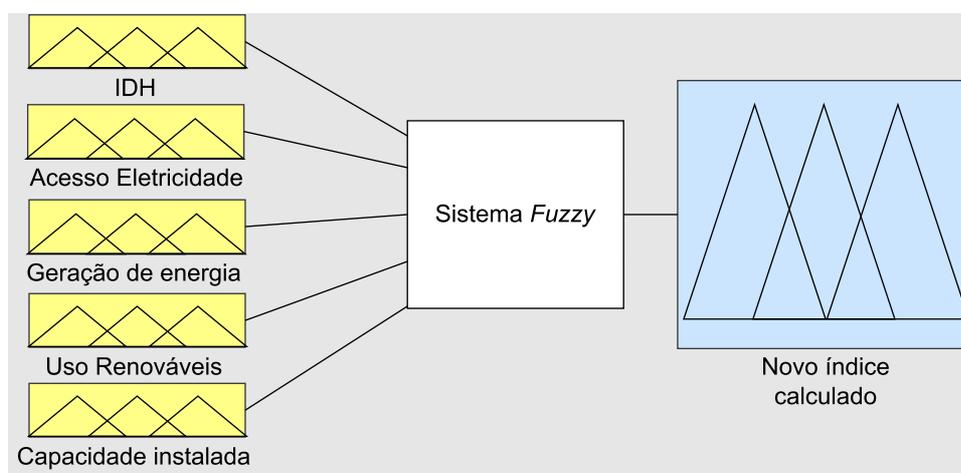
Fonte: Autora.

Assim, estes foram alguns exemplos de regras empregadas no problema proposto e maiores detalhes sobre formulação das regras *fuzzy* estão presentes no Apêndice A. Todas as regras têm pesos iguais e influenciam igualmente no processo de inferência. No ambiente de programação MATLAB foram informadas todas as 215 regras que foram aplicadas para a tomada de decisão no cálculo do novo índice para avaliação do desempenho no contexto da transição energética para os países da CPLP.

3.1.4 O sistema de avaliação: visão geral

Na etapa de inferência *fuzzy*, as regras foram aplicadas para determinar a pertinência da saída em relação aos conjuntos *fuzzy* definidos para a variável de saída. Este processo envolve calcular o grau de pertinência de cada regra e combinar os resultados para obter uma saída *fuzzy*. Tais etapas combinadas formam o sistema de avaliação *fuzzy*, conforme mostrado na Figura 52. Este modelo é utilizado no ambiente de programação MATLAB, além disso o sistema de inferência é desenvolvido usando o modelo de Sugeno (Sugeno, 1985).

Figura 52 – Sistema de inferência *fuzzy* para avaliação de um novo índice de desenvolvimento social e eletroenergético para países da CPLP.



Fonte: Autora.

Foram consideradas cinco variáveis de entrada *fuzzy*, o IDH, acesso à eletricidade, geração de energia, uso de energias renováveis e capacidade de geração instalada, conforme já detalhado anteriormente. A partir das regras definidas e informadas ao *software* MATLAB, associando cada variável, o novo índice é formado e é analisado como resposta à inferência *fuzzy*.

3.1.5 O processo de *defuzzyficação* e elaboração do novo índice

Após a inferência *fuzzy*, os resultados *fuzzy* são convertidos de volta em valores numéricos precisos através da *defuzzyficação*. Diferentes métodos de *defuzzyficação* podem

ser empregados, como a média ponderada ou o centro de gravidade, dependendo do contexto do problema, conforme abordado no Apêndice A.

O método do centro de gravidade é comumente utilizado para *defuzzyficar* a saída. Neste método, calcula-se o centro de gravidade ponderado dos conjuntos *fuzzy* resultantes para determinar o valor da variável de saída, conforme a Equação A.10.

O novo índice desenvolvido é tido como variável de saída, f_i , associado ao conjunto *fuzzy*, F_i , associado à três variáveis linguísticas dadas por Baixo (B), Médio (M) e Alto (A), usando suas respectivas funções de pertinência triangulares $\mu_B(f_i)$, $\mu_M(f_i)$ e $\mu_A(f_i)$. A função de pertinência associada a variável de saída é dada de acordo com a Equação 3.7.

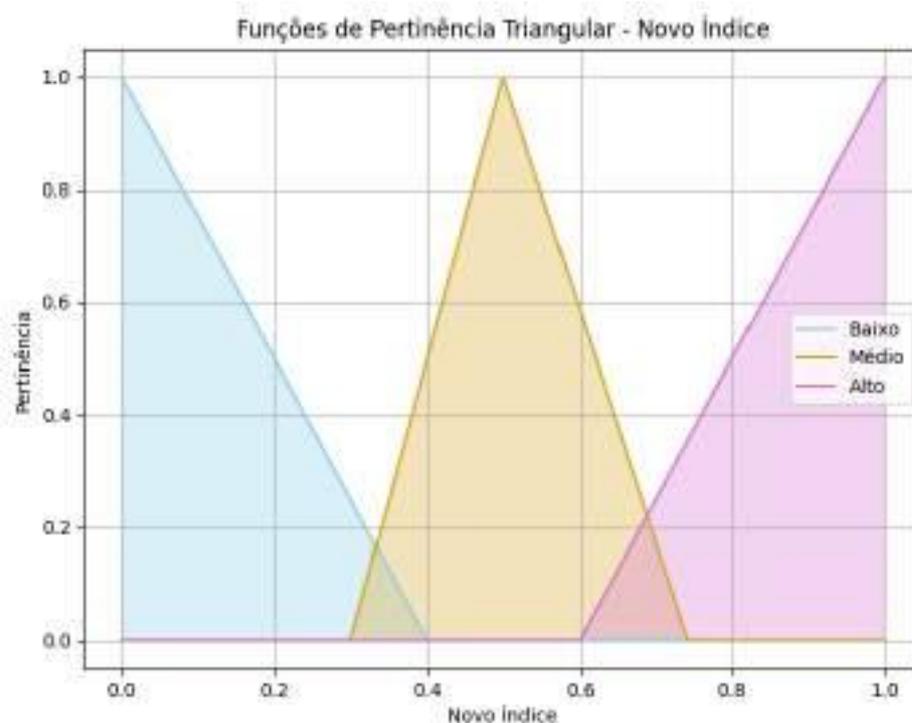
$$U(F_i) = [0,1] \quad (3.7a)$$

$$B(F_i) = (f_i, \mu_B(f_i)) \mid 0 \leq f_i \leq 0,4 \therefore \mu_B(f_i) = \begin{cases} -2,5f_i + 1 & \text{se } 0 \leq f_i \leq 0,4 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.7b)$$

$$M(F_i) = (f_i, \mu_M(f_i)) \mid 0,3 \leq x_i \leq 0,742 \therefore \mu_M(f_i) = \begin{cases} 5f_i - 1,5 & \text{se } 0,3 \leq f_i \leq 0,5 \\ -4,132f_i - 3,066 & \text{se } 0,5 < x_i \leq 0,742 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.7c)$$

$$A(F_i) = (f_i, \mu_A(f_i)) \mid 0,6 \leq f_i \leq 1 \therefore \mu_A(f_i) = \begin{cases} 2,5f_i - 1,5 & \text{se } 0,6 \leq f_i \leq 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.7d)$$

A Figura 60 é a representação gráfica da variável novo índice, conforme a formulação matemática apresentada anteriormente.

Figura 53 – Modelagem *fuzzy* para o novo índice desenvolvido.

Fonte: Autora.

A variável de saída é especificada, portanto, de acordo com os conceitos Baixo (valores entre 0 e 0,4), sendo a função de pertinência máxima associada ao valor 0; Médio (valores entre 0,3 e 0,742), sendo a função de pertinência máxima associada ao valor 0,5; e Alto, (valores maiores que 0,6), sendo a função de pertinência máxima associada ao valor 1,0, conforme detalhado na Tabela 25. A Tabela 25 apresenta também uma descrição interpretativa sobre as faixas que a variável de saída pode representar, de acordo com o seu valor numérico.

Tabela 25 – Processo de *defuzzyficação*.

Categoria	Faixa	Descrição
Baixo	$0 \leq f_i \leq 0,4$	Países que enfrentam desafios significativos nos aspectos sociais e eletroenergéticos, bem como a transição para fontes de energia mais limpas e sustentáveis ainda não é uma realidade. Aspectos sociais, como falta de acesso à energia e altas taxas de pobreza, são comuns. A infraestrutura pode ser obsoleta, com alta dependência de combustíveis fósseis.

(continua na próxima página)

Tabela 25: Processo de *defuzzificação* (Continuação).

Categoria	Faixa	Descrição
Médio	$0,3 \leq f_i \leq 0,742$	Países com uma transição energética regular. Ainda possui alguns desafios nos aspectos sociais e eletroenergéticos, porém há um progresso gradual na implementação de fontes de energia renováveis e políticas energéticas. Desafios sociais como acesso desigual à energia ainda persistem, bem como a modernização da infraestrutura elétrica pode ser limitada.
Alto	$0,6 \leq f_i \leq 1$	Países líderes na transição energética, tanto nos aspectos sociais quanto eletroenergeticamente. Possuem políticas robustas de energia limpa, promovendo o acesso universal à eletricidade e reduzindo a pobreza energética. A infraestrutura energética é moderna e diversificada, com uma capacidade significativa de geração de energia renovável e uma reduzida dependência de combustíveis fósseis.

Fonte: Autora.

No *software* MATLAB, o processo de *defuzzificação* é feito a partir da análise da função "*sum*" e os demais parâmetros setados seguem opções *default*. A função "*sum*" para *defuzzificação* utiliza o método do centro de gravidade (centroid) para calcular o valor *defuzzificado* de um conjunto *fuzzy*, o que significa que o valor final é determinado com base no centroide do conjunto *fuzzy* resultante após a aplicação das regras de inferência *fuzzy*. O método do centro de gravidade considera o peso de cada valor do universo do discurso, ponderando-os de acordo com o grau de pertinência associado a cada valor.

3.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A análise estatística é uma ferramenta poderosa que desempenha um papel crucial em diversas áreas, desde a pesquisa científica até a tomada de decisões em negócios e políticas públicas. Desta forma, a estatística consiste no planejamento, coleta, consistência, tabulação, análise e interpretação de dados de pesquisas envolvendo censos ou levantamentos de dados, através de amostragem. Através de levantamentos estatísticos, por exemplo, é possível estabelecer um retrato da realidade de um país de acordo com alguns critérios,

como os aspectos socioeconômicos, ambientais e eletroenergéticos, permitindo assim uma maior eficiência na tomada de decisão dos líderes do governo na aplicação dos recursos públicos voltados para o bem estar e melhoria das condições de vida da população (Ignácio, 2012).

No contexto da transição energética, o uso das fontes renováveis de energia é de extrema importância para mitigar os impactos negativos das emissões de GEE ao longo dos anos, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e promover a sustentabilidade ambiental. Ao contrário das fontes poluentes, as renováveis, tais como solar, eólica, hidrelétrica e biomassa, são inesgotáveis e possuem baixo impacto ambiental durante sua operação. Além disso, o desenvolvimento e a adoção dessas fontes energéticas impulsionam a inovação tecnológica, criam empregos verdes e promovem o acesso universal à energia limpa, contribuindo para um futuro energético mais seguro e o desenvolvimento socioeconômico dos países (Vanegas Cantarero, 2020).

Neste contexto, este trabalho faz uso de análises estatísticas visando correlacionar os indicadores do crescimento no uso de tecnologias de energia renováveis e o índice de desenvolvimento humano (IDH) entre os países da CPLP. Com o objetivo de estudar como o uso de fontes renováveis impactam o desenvolvimento social de um país. Para isso, serão utilizados os dados da capacidade instalada – das fontes solar, eólica, biomassa e hidráulica – ao longo de 10 anos, desde 2010 até 2019.

Nesta seção será apresentado a metodologia utilizada para a resolução do problema proposto, através da utilização do *software* MATLAB, bem como, os conceitos relacionados à correlação de *Pearson*.

3.2.1 Definições e dados de entrada

O presente trabalho usa alguns princípios da estatística, principalmente a correlação de *Pearson* para analisar a relação entre o crescimento do uso das energias renováveis e o IDH, entre os países que compõem a CPLP, dentro do contexto da transição energética. Serão utilizados os dados de capacidade instalada das fontes solar, eólica, biomassa e hidráulica, obtidos pela Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA), e também os dados dos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH), obtidos nos relatórios de desenvolvimento humano do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Dentro os países da CPLP, apenas o país Guiné Equatorial não será analisado, pois seus dados não estavam disponíveis na fonte de dados utilizada. Por fim, através da implementação em ambiente de programação MATLAB é possível analisar os resultados obtidos, além de verificar se estão coerentes ou não com base nos dados e na literatura, bem como apresentar uma análise crítica dentro do contexto proposto.

Nesta seção será apresentado as definições das principais fontes de energia renováveis citadas neste trabalho – solar, eólica, biomassa e hidráulica – bem como a apresentação

dos dados utilizados como variáveis de entrada para a modelagem matemática proposta. Com relação a variável de entrada que representa o IDH, foi definido na seção anterior, nesta pesquisa, e maiores detalhes estão presentes no Apêndice B. A Tabela 27 mostra os dados de entrada relativos ao IDH dos oito países da CPLP ao longo dos dez anos analisados. A Figura 4 apresenta a variação do IDH para os países ao longo dos anos, a análise estatística leva em consideração os anos de 2010 até 2019. Pode-se observar que os países que apresentam maiores índices de desenvolvimento humano são Portugal e Brasil, por outro lado, os países que apresentam os menores índices são os países localizados no continente Africano, principalmente Moçambique e Guiné-Bissau.

Destaca-se, por análise gráfica, uma diminuição expressiva no IDH do Timor-Leste, entre o ano de 2010 e 2019. Tal fato se apresenta como reflexo importante das crises vivenciadas no país. Como já descrito anteriormente, o Timor-Leste é um dos países mais jovens do mundo, tendo sido declarado independente de Portugal em 1975 e no mesmo ano ocupado pela Indonésia. A luta pela libertação do país durou até 2002, acentuando-se na crise de 1999. Desde então, passou por graves convulsões sociais, como a crise de 2006, causada por discriminações no meio militar que reflete na crise de 2008, em que o presidente e o primeiro ministro, Xanana Gusmão, sofrem atentados. Ainda, entre 2018 e 2021, sofre forte crise política. Todo este contexto reflete-se no IDH do país.

As fontes renováveis de energia são consideradas inesgotáveis, uma vez que suas quantidades se renovam constantemente a medida que são utilizadas. Tal característica as diferencia das fontes de energia não renováveis, como o petróleo e o carvão, cujas reservas são finitas e não se regeneram naturalmente ao longo do tempo. Ao aproveitar o potencial das fontes renováveis, como hídrica (energia proveniente da água dos rios), solar (energia proveniente do sol), eólica (energia proveniente do vento), biomassa (energia de matéria orgânica), geotérmica (energia do interior da Terra), oceânica (energia das marés e das ondas) e hidrogênio (energia química da molécula de hidrogênio), pode-se garantir um suprimento sustentável de energia a longo prazo, reduzindo os impactos ambientais e promovendo a segurança energética. Neste trabalho, apenas as fontes solar, eólica, biomassa e hídricas serão analisadas e a Tabela 26 apresenta o conceito sobre cada uma destas fontes, as quais são consideradas limpas, já que emitem menos GEE e, por isso, estão atingindo uma boa inserção no mercado global.

Tabela 26 – Descrição das fontes renováveis de energia.

Fonte Renovável de Energia	Descrição
Solar	<p>Nesta fonte a energia pode ser aproveitada diretamente do sol, mesmo em tempo nublado. A energia solar é usada em todo o mundo e é cada vez mais popular para gerar eletricidade ou aquecimento e dessalinização de água. A energia solar é gerada de duas maneiras principais:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fotovoltaicos (PV), do inglês <i>Photovoltaic</i>: Também chamados de células solares, são dispositivos eletrônicos que convertem a luz solar diretamente em eletricidade. • Energia solar concentrada (CSP): Usa espelhos para concentrar os raios solares. Esses raios aquecem o fluido, que cria vapor para acionar uma turbina e gerar eletricidade.
Eólica	<p>Nesta fonte a energia do vento é usado para produzir eletricidade através da energia cinética criada pelo ar em movimento. A energia eólica é uma das tecnologias de energia renovável de crescimento mais rápido no mundo. A capacidade instalada global de geração eólica <i>onshore</i> e <i>offshore</i> aumentou quase 75 vezes nas últimas duas décadas, saltando de 7,5 <i>GW</i> em 1997 para cerca de 564 <i>GW</i> em 2018, de acordo com os dados recentes da (Irena, 2023a).</p>
Biomassa	<p>O uso da biomassa pode ser separado em duas categorias principais:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tradicional: O uso tradicional se refere à combustão de biomassa em formas como madeira, resíduos animais e carvão vegetal tradicional. • Moderno: As tecnologias modernas de bioenergia incluem biocombustíveis líquidos produzidos a partir do bagaço e de outras plantas; bio-refinarias; biogás produzido por digestão anaeróbia de resíduos; entre outras tecnologias.

(continua na próxima página)

Tabela 26 – Descrição das fontes renováveis de energia (continuação).

Fonte Renovável de Energia	Descrição
Hidráulica	A energia hidrelétrica é a energia derivada da água corrente. Atualmente está entre os meios de geração de eletricidade com melhor relação custo-benefício e, em geral, é o método mais adotado, quando disponível.

Fonte: Autora, de acordo com (Irena, 2023a).

A Tabela 27 mostra os dados de entrada relativos a capacidade instalada das fontes solar (PV), eólica *onshore*, biomassa (biocombustíveis sólidos) e hidráulica, nos oito países da CPLP, durante dez anos, em *MW*. Vale ressaltar que, na base de dados utilizada neste artigo, para a fonte de energia renovável do tipo solar (PV) havia dados disponíveis para todos os oito países estudados da CPLP. Para o tipo eólica *onshore*, havia dados disponíveis para Brasil, Cabo Verde e Portugal. Para a biomassa e hidráulica, os dados disponíveis são de Angola, Brasil, Portugal e Moçambique.

Tabela 27 – Dados de entrada para os países da CPLP ao longo de dez anos.

IDH [%]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Angola	0,517	0,533	0,544	0,555	0,565	0,572	0,578	0,582	0,582	0,581
Brasil	0,727	0,731	0,735	0,753	0,756	0,756	0,758	0,761	0,762	0,765
Cabo Verde	0,632	0,639	0,644	0,647	0,654	0,656	0,657	0,660	0,663	0,665
Guiné-Bissau	0,436	0,445	0,448	0,452	0,459	0,464	0,468	0,470	0,472	0,480
Portugal	0,829	0,833	0,836	0,840	0,847	0,854	0,855	0,858	0,860	0,864
Moçambique	0,401	0,397	0,403	0,417	0,425	0,433	0,441	0,446	0,452	0,456
São Tomé e Príncipe	0,561	0,568	0,573	0,582	0,591	0,604	0,608	0,619	0,624	0,625
Timor-Leste	0,628	0,644	0,639	0,630	0,620	0,610	0,598	0,599	0,599	0,606
Solar [MW]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Angola	7,098	7,718	9,604	10,799	11,962	12,867	13,377	13,3774	13,377	13,377
Brasil	2,000	2,000	3,000	6,000	16,000	27,000	84,000	1104,000	2078,000	2485,000
Cabo Verde	5,500	5,500	5,574	5,651	5,805	6,118	6,174	6,235	7,581	7,581
Guiné-Bissau	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,312	0,312	0,312	1,169	1,169
Portugal	4134,000	172,000	238,000	296,000	415,000	447,000	512,800	579,200	667,400	827,600
Moçambique	0,000	0,500	1,500	4,900	7,000	10,000	13,000	15,000	15,000	55,000
São Tomé e Príncipe	0,000	0,000	0,000	0,063	0,098	0,119	0,157	0,316	0,316	0,316
Timor-Leste	0,001	0,001	0,001	0,560	0,560	0,560	0,560	0,604	0,604	0,604
Eólica [MW]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Brasil	927,000	1426,000	1894,000	2202,000	4888,000	7633,000	10124,000	12294,000	14833,000	15364,000
Cabo Verde	927,000	1426,000	1894,000	2202,000	4888,000	7633,000	10124,000	12294,000	14833,000	15364,000
Portugal	3796,000	4254,000	4410,000	4608,000	4855,000	4935,000	5124,000	5124,000	5172,000	5225,000
Biomassa [MW]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Angola	0,000	0,000	0,000	0,000	51,000	51,000	51,000	51,000	51,000	51,000
Brasil	7771,000	8865,000	9746,000	11424,000	12145,000	13088,000	13729,000	14303,000	14494,000	14657,000
Portugal	482,000	478,000	479,000	458,000	456,000	471,000	477,000	471,200	535,900	616,900
Moçambique	4,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000
Hidráulica [MW]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Angola	772,000	772,000	857,000	937,000	953,000	953,000	1684,000	2365,000	2699,000	2699,000
Brasil	80703,000	82457,000	84294,000	86019,000	89193,000	91650,000	95929,000	100319,000	104463,000	109092,000
Portugal	4057,1004	4490,300	4413,900	4362,900	4368,000	4446,000	4458,000	4461,500	4471,400	4484,400
Moçambique	2183,830	2183,830	2185,610	2185,810	2186,430	2186,590	2186,590	2203,590	2203,590	2203,590

Fonte: Autora, com os dados extraídos do (Undp, 2023) e (Irena, 2023a).

3.2.2 Correlação de *Pearson*

O coeficiente de correlação de *Pearson* é um método estatístico utilizado para avaliar a força e a direção linear entre pares de variáveis. É um método utilizado para avaliar uma possível relação bidirecional entre os pares de variáveis (Mukaka, 2012). Tal coeficiente, denotado como r é um valor adimensional variável de -1 a 1 que representa a medida de variância entre duas variáveis. O valor adimensional negativo representa uma correlação de sentido **imergente**. No entanto, o valor adimensional positivo representa uma correlação **emergente**. Quanto mais próximo a correlação for de ± 1 , mais forte será (Vaz; Farret, 2020).

A Equação 3.8 é utilizada para encontrar o coeficiente de correlação de *Pearson* e a interpretação deste coeficiente, considerada nesse estudo, é mostrada na Tabela 28 (Campbell, 2021).

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{X})^2(y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3.8)$$

onde,

X : Representa as variáveis independentes;

Y : Representa as variáveis dependentes;

x_i : Representa valores da i -ésima individual de X ;

y_i : Representa valores da i -ésima individual de Y .

Tabela 28 – Interpretação dos coeficientes de correlação de *Pearson*.

Coeficiente de <i>Pearson</i> r	Coeficiente de <i>Pearson</i>
$\pm 0,9$ a $\pm 1,0$	Correlação positiva (negativa) muito alta
$\pm 0,7$ a $\pm 0,9$	Alta correlação positiva (negativa)
$\pm 0,5$ a $\pm 0,7$	Correlação positiva (negativa) moderada
$\pm 0,3$ a $\pm 0,5$	Baixa correlação positiva (negativa)
$\pm 0,0$ a $\pm 0,3$	Correlação insignificante

Portanto, é possível estabelecer os coeficientes de correlação de *Pearson* entre a capacidade instalada de fontes renováveis (solar, eólica, biomassa e hidráulica) e o IDH dos oito países estudados, a partir do levantamento de dados, e realizar a análise da interpretação dessa relação.

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Nas considerações finais deste estudo, é imprescindível ressaltar o impacto significativo e as implicações profundas da aplicação conjunta da metodologia *fuzzy* e das análises

estatísticas, como a correlação de *Pearson*, em diversas áreas de pesquisa. A metodologia *fuzzy*, ao oferecer uma estrutura matemática flexível para lidar com a ambiguidade e a incerteza dos dados, revelou-se uma ferramenta poderosa para modelar sistemas complexos, nos quais as fronteiras entre categorias são difusas e não definidas. A capacidade de representar conceitos vagos de forma precisa e adaptativa promoveu uma compreensão mais profunda da natureza intrínseca dos fenômenos estudados, permitindo uma análise mais refinada e contextualizada dos dados.

Essa abordagem integrada oferece uma perspectiva holística na análise de dados, permitindo uma compreensão mais abrangente das relações entre variáveis, mesmo em situações nas quais os dados são incompletos. Portanto, os resultados esperados neste estudo, são relacionados ao cálculo de um novo índice de avaliação do desempenho de diferentes países no contexto da transição energética, bem como apresentar a correlação que estes países apresentam entre a inserção de fontes renováveis e o desenvolvimento humano. É evidente que a metodologia *fuzzy*, bem como as análises estatísticas têm o potencial de desempenhar um papel significativo em uma variedade de áreas. Diante disso, nota-se que a adoção dessa abordagem integrada representa uma ferramenta valiosa para enfrentar desafios complexos e tomar melhores decisões, na sociedade contemporânea.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os principais resultados obtidos a partir da pesquisa realizada, através da lógica *fuzzy* desenvolvida e das análises estatísticas implementadas. É esperado que o novo índice calculado para avaliação dos países, no contexto da transição energética, consiga representar de forma satisfatória a realidade e maturidade de cada um, com relação aos aspectos sociais e eletroenergéticos.

Para isto, será feita uma análise detalhada da avaliação da transição energética nos países membros da CPLP, a partir dos indicadores, tais como o IDH, acesso à eletricidade, geração de energia, produção de eletricidade à partir de fontes de energia renováveis e capacidade de geração instalada. Por meio de um sistema de inferência *fuzzy*, são modelados as relações entre estes dados e elaboradas as regras que representam o comportamento do sistema. Posteriormente, a partir da ativação de tais regras para cada país, resulta-se em um conjunto *fuzzy* de saída, que expressa o grau de transição energética para cada nação estudada.

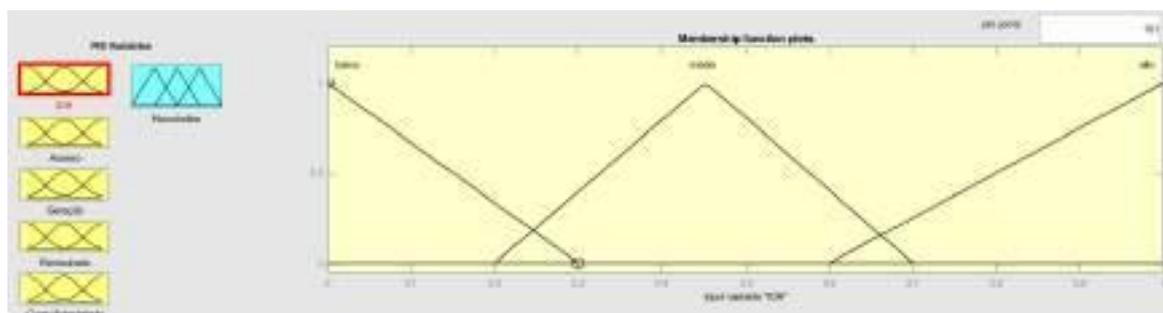
Além disso, a partir da utilização do método de *defuzzificação*, pelo centro de gravidade, obtêm-se um valor único que representa o índice de desenvolvimento dos países com relação a transição energética. Esses resultados fornecem uma visão abrangente e quantitativa da situação energética da CPLP, destacando países líderes no processo e aqueles que necessitam de uma maior atenção, bem como investimentos para promover uma transição energética mais justa, eficiente e sustentável.

Outro resultado esperado é a análise de correlação entre a capacidade instalada de cada fonte de energia renovável e o IDH de cada país da CPLP, utilizando a metodologia da correlação de *Pearson*. Por fim, através da implementação do problema proposto em ambiente de programação MATLAB é possível analisar os resultados obtidos e verificar se estão coerentes ou não com base nos dados e na literatura.

4.1 RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA LÓGICA FUZZY

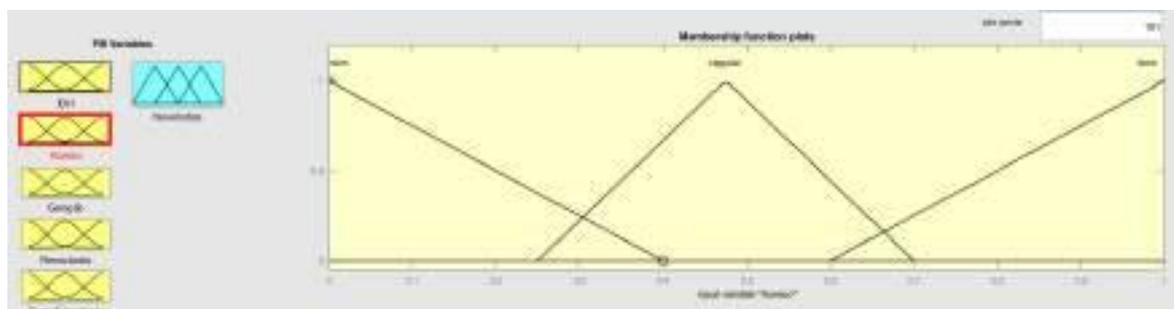
A partir da modelagem detalhada na seção Seção 3.1, pode-se implementar o problema proposto, através da *Fuzzy Logic Toolbox* do *software* MATLAB. Desta forma, é informado as funções de pertinência triangulares para cada uma das variáveis de entrada, mostrado nas Figuras 54-58, do sistema de inferência *fuzzy*, exibido na Figura 59, para o ambiente computacional.

Figura 54 – Variável de Entrada - IDH.



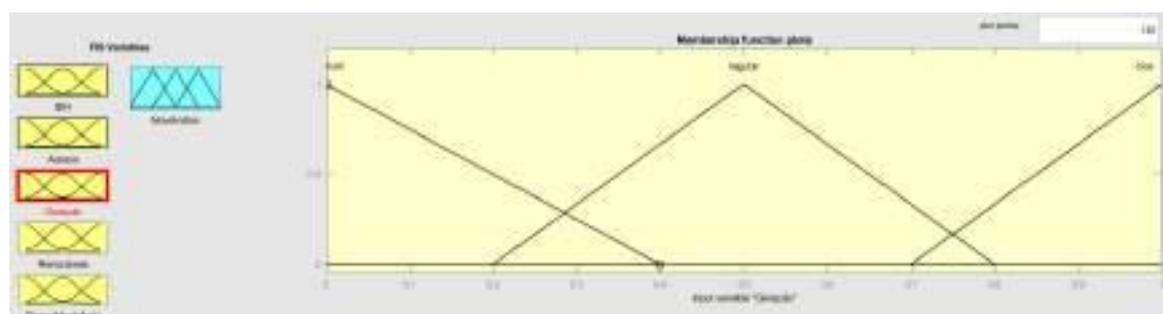
Fonte: Autora, através do *software* MATLAB.

Figura 55 – Variável de Entrada - Acesso à eletricidade.



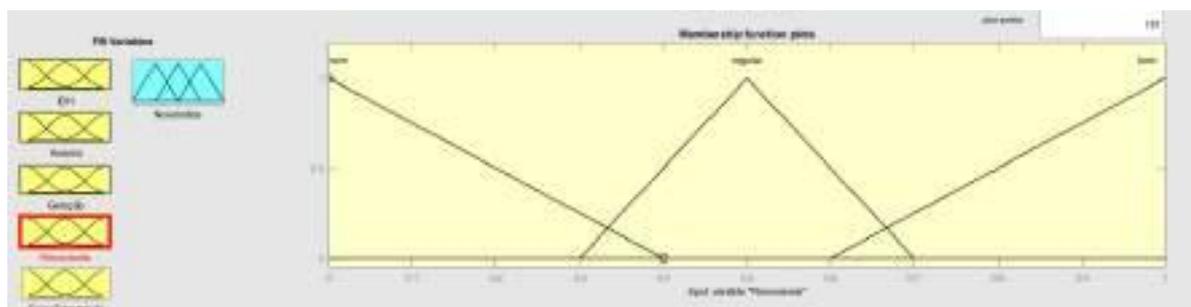
Fonte: Autora, através do *software* MATLAB.

Figura 56 – Variável de Entrada - Geração de energia.



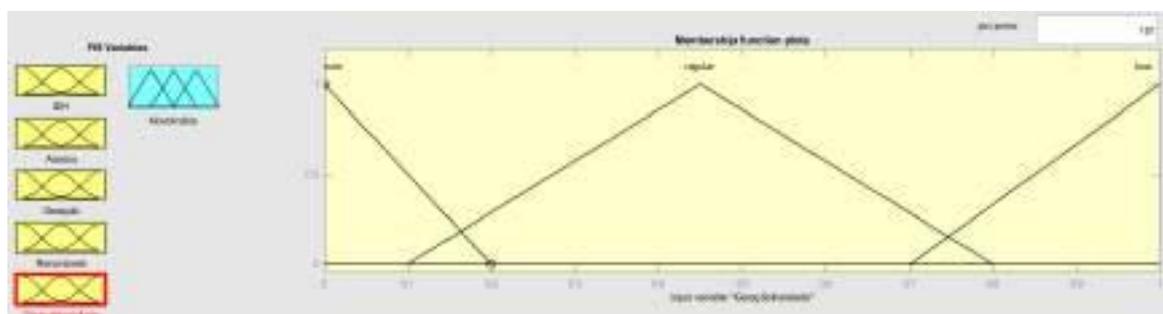
Fonte: Autora, através do *software* MATLAB.

Figura 57 – Variável de Entrada - Produção de Eletricidade a partir de Fontes Renováveis.



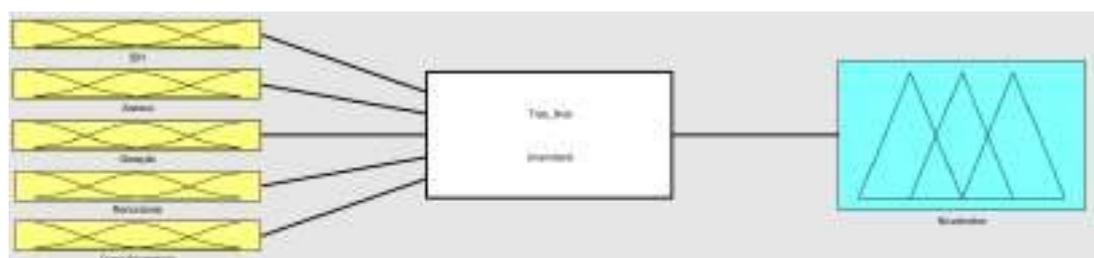
Fonte: Autora, através do *software* MATLAB.

Figura 58 – Variável de Entrada - Capacidade de Geração Instalada.



Fonte: Autora, através do *software* MATLAB.

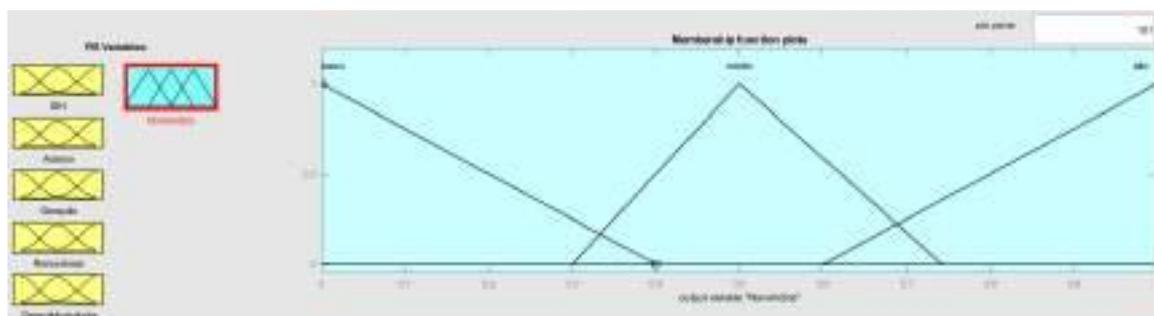
Figura 59 – Sistema de inferência *fuzzy* implementado no *software* MATLAB.



Fonte: Autora, através do *software* MATLAB.

O sistema de inferência *fuzzy* utilizado no *software* MATLAB e exibido na Figura 59, é responsável por relacionar as variáveis de entrada informadas com a variável de saída, apresentada na Figura 60, considerada como o novo índice de desenvolvimento dos países da CPLP, no contexto da transição energética.

Figura 60 – Variável de Saída - Novo Índice.



Fonte: Autora, através do *software* MATLAB.

O índice é calculado através da ativação das regras *informadas* ao sistema, a combinação de tais regras torna possível o processo de *defuzzyficação*. Portanto, utilizando os dados obtidos de IDH, acesso à eletricidade, produção de energia, consumo de energia, uso de energias renováveis e capacidade de geração instalada contidos na Tabela 22, para os países da CPLP, obtêm-se como resultados os novos índices apresentados nas Figuras de 61-63.

Para que seja possível calcular o índice de desempenho dos países com relação a transição energética, é preciso normalizar os valores do IDH, acesso à eletricidade, produção de energia, consumo de energia, uso de energias renováveis e capacidade de geração instalada contidos na Tabela 22, para valores entre 0-1.

Analisando os resultados é possível fazer um *ranking* com relação aos novos índices obtidos, conforme observado na Tabela 29.

Tabela 29 – *Ranking* a partir do novo índice.

Posição	País	Índice	Classificação
1	Portugal	0,84	Alto
2	Brasil	0,71	Alto
3	Angola	0,50	Médio
4	Moçambique	0,35	Baixo
5	Cabo Verde	0,34	Baixo
6	Guiné Equatorial	0,33	Baixo
7	Timor-Leste	0,00	Baixo
8	São Tomé e Príncipe	0,00	Baixo
9	Guiné-Bissau	0,00	Baixo

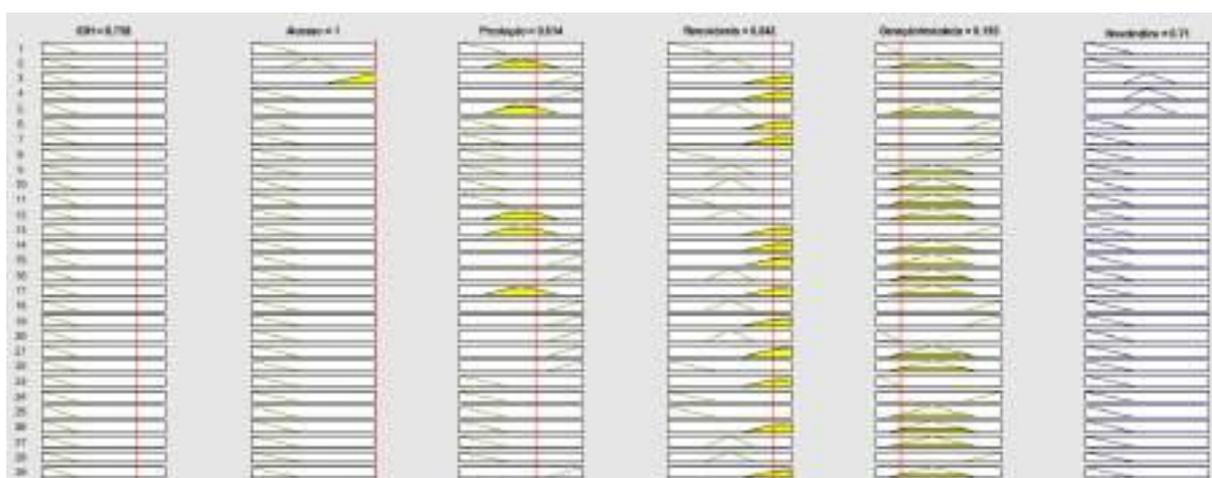
Fonte: Autora, através do *software* MATLAB.

De maneira geral, o novo índice obtido se comporta de forma muito similar ao IDH, uma vez que os países que possuem os índices de desenvolvimento mais altos, conforme

Figura 61 – Aplicação das regras *fuzzy* para o cálculo do novo índice no *software* MATLAB, para os países Angola, Brasil e Cabo Verde.



(a) Angola



(b) Brasil



(c) Cabo Verde

Fonte: Autora, através do *software* MATLAB.

Figura 62 – Aplicação das regras *fuzzy* para o cálculo do novo índice no *software* MATLAB, para os países Guiné-Bissau, Guiné Equatorial e Portugal.



(a) Guiné-Bissau



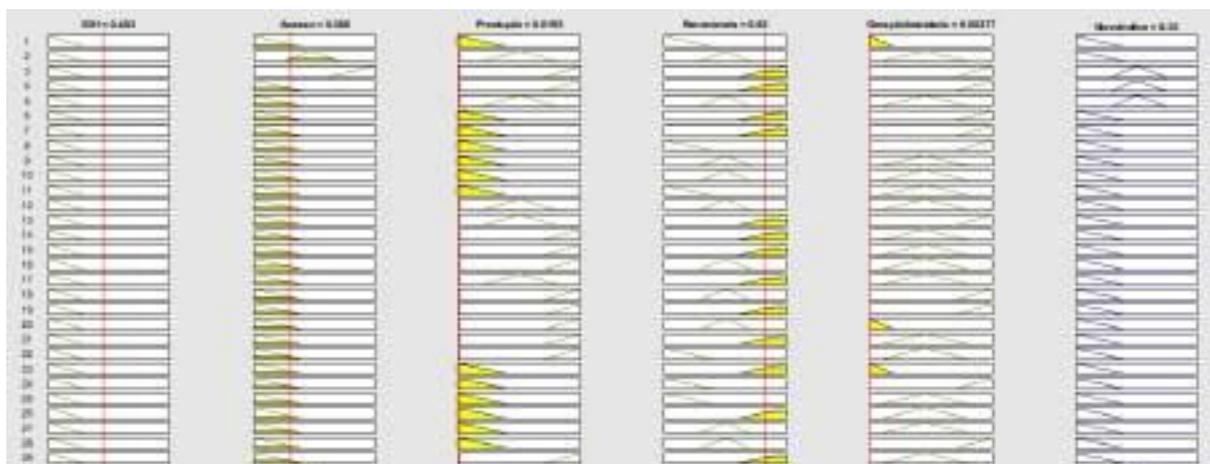
(b) Guiné Equatorial



(c) Portugal

Fonte: Autora, através do *software* MATLAB.

Figura 63 – Aplicação das regras *fuzzy* para o cálculo do novo índice no *software* MATLAB, para os países Moçambique e Timor-Leste.



(a) Moçambique

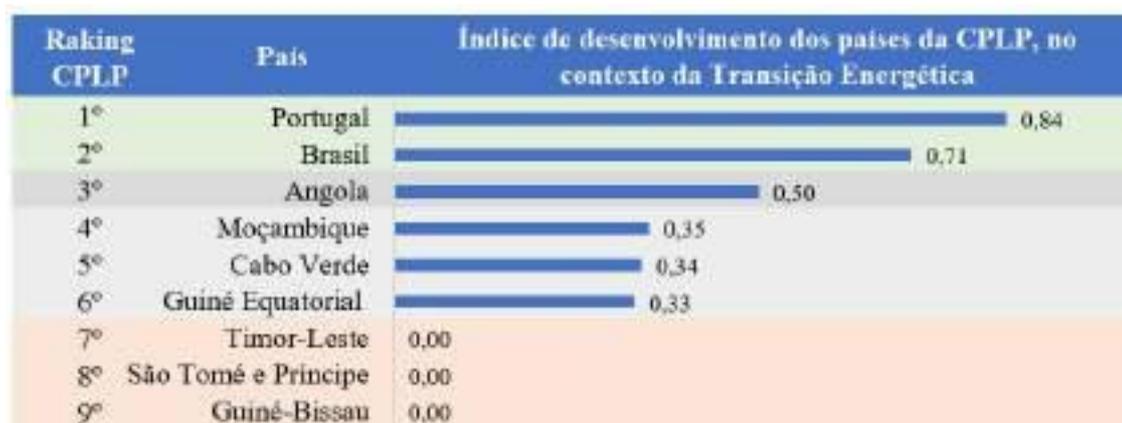


(b) Timor-Leste

Fonte: Autora, através do *software* MATLAB.

Portugal e Brasil, estão em destaque, e os países que possuem os índices mais baixos, como Guiné-Bissau, ficou em última posição, como notado na Figura 64.

Figura 64 – Índice de desenvolvimento dos países da CPLP, no contexto da Transição Energética, através do cálculo no *software* MATLAB.



Fonte: Autora.

O comportamento observado já era esperado, uma vez que os indicadores apresentam a tendência de fortalecer os índices, para os países Portugal e Brasil, que possuem os melhores resultados nos aspectos humano, social e energético, e, por outro lado, diminuir o valor do índice calculado de forma proporcional à situação humana, social e eletroenergética de cada um dos demais países. Angola, apesar de ter um valor de IDH considerado médio, possui outros indicadores com valores satisfatórios com destaque para a produção de eletricidade a partir de fontes de energia renováveis, o que explica a posição do país no *ranking* entre os países da CPLP.

Com relação aos países Moçambique, Cabo Verde e Guiné Equatorial já possuem um desempenho considerado como baixo, através do novo índice calculado, isso porque são países com baixo desenvolvimento humano e social, com poucos incentivos às fontes renováveis e com diversos problemas energéticos, principalmente com relação a disponibilidade de energia elétrica.

Por fim, os países Timor-Leste, São Tomé e Príncipe e Guiné-Bissau são os que possuem a pior avaliação, obtendo um índice nulo. Corroborando, principalmente, a deficiência que estes países possuem em gerar energia através de fontes renováveis, sendo muito dependentes dos combustíveis fósseis, as ausências de políticas fortes voltadas para a transição energética, a instabilidade política e econômica, bem como as vulnerabilidades sociais e climáticas.

Através da classificação obtida, pode-se observar que o índice crítico apresentado pelos países localizados no continente Africano corrobora com a motivação deste trabalho, apresentada na Seção 1.2, ressaltando a importância de desenvolver políticas públicas, investimentos internos e externos, visando a transição energética, nestes países.

Apesar do resultado satisfatório de acordo com o cálculo do novo índice de desenvolvimento para os países, refletindo a conjuntura atual de cada um dos países da

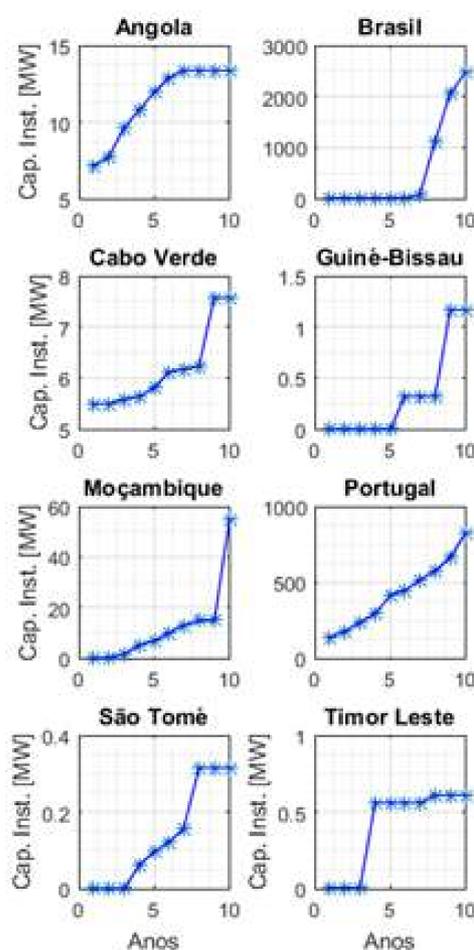
CPLP estudados, principalmente com relação ao contexto da transição energética, uma maior precisão no cálculo do índice pode ser implementada, fazendo-se uma análise mais profunda das regras informadas para o sistema de *fuzzyficação*.

4.2 RESULTADOS OBTIDOS NAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para o desenvolvimento das análises estatísticas, através dos dados de entrada exibidos na Tabela 27, serão apresentados os resultados das análises relativas ao uso de cada uma das fontes de energia renováveis – solar, eólica, biomassa e hidráulica – em cada um dos oito países selecionados da CPLP, através da metodologia da correlação de *Pearson*, com os dados de entrada de capacidade instalada de cada fonte e o IDH de cada país.

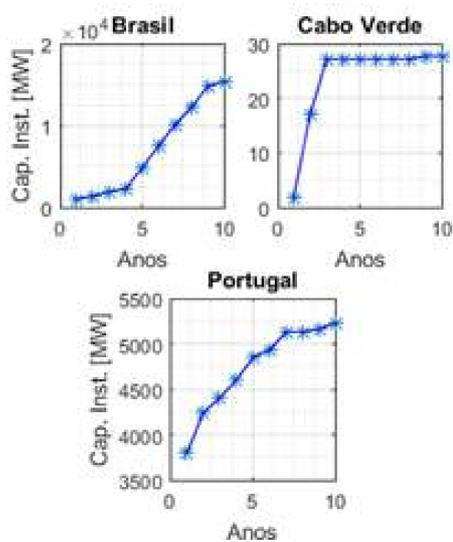
As Figuras 65-68 mostram, respectivamente, as curvas de capacidade instalada das fontes solar (PV), eólica *onshore*, biomassa e hidráulica, ao longo de dez anos, para membros da CPLP. Vale ressaltar que há uma tendência de crescimento na capacidade instalada destas fontes em praticamente todos os países analisados.

Figura 65 – Capacidade instalada de energia solar ao longo de dez anos.



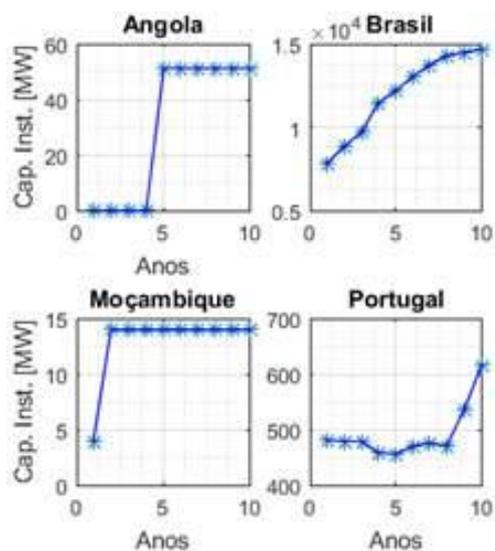
Fonte: Autora, a partir do *software* MATLAB.

Figura 66 – Capacidade instalada de eólica *onshore* ao longo de dez anos.



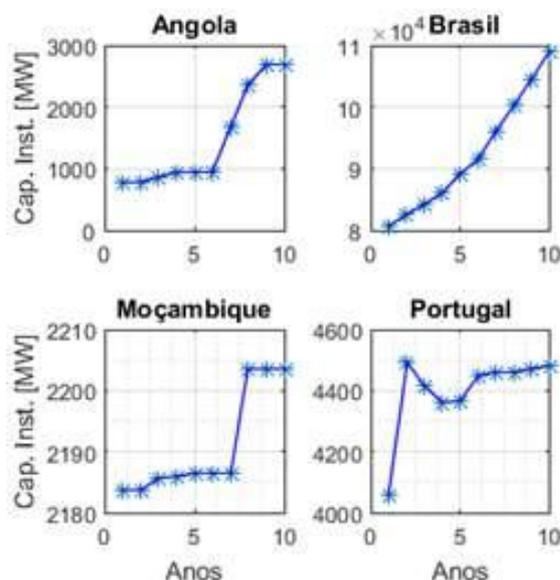
Fonte: Autora, a partir do *software* MATLAB.

Figura 67 – Capacidade instalada de biomassa ao longo de dez anos.



Fonte: Autora, a partir do *software* MATLAB.

Figura 68 – Capacidade instalada de hidráulica ao longo de dez anos.



Fonte: Autora, a partir do *software* MATLAB.

Analisando os últimos anos, para fonte solar, vale ressaltar que há um crescimento na capacidade instalada desta fonte em todos os países analisados, apesar das escalas distintas, o que mostra o seu crescente uso nos países no contexto da transição energética e na busca por uma matriz energética mais limpa. Além disso, é possível observar que os países que mais utilizam esta fonte são Portugal e o Brasil, países com IDH alto, o que reforça uma relação entre o nível de desenvolvimento humano de um país e o incentivo à fontes de energia renovável. No caso do Brasil, nota-se que a utilização desta fonte começou a crescer de forma rápida e expressiva a partir do ano de 2014, mostrando a importância dessa fonte nos últimos anos. No entanto, nos países do continente Africano e Timor-Leste, nota-se o menor uso desta fonte, porém apontando uma tendência de crescimento, representando um potencial para os próximos anos de acordo com a capacidade de cada país.

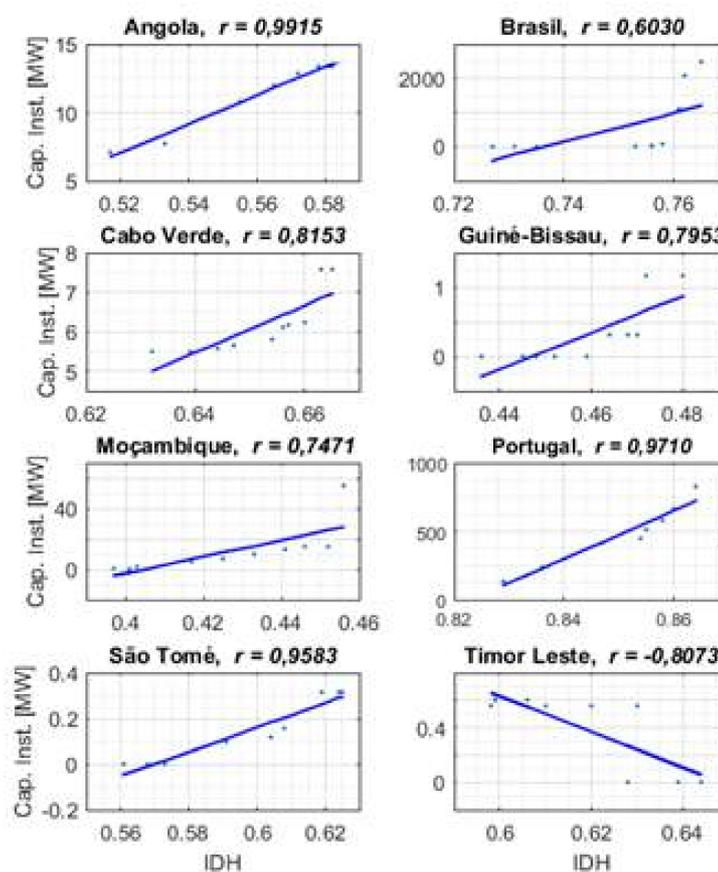
Para a eólica *onshore*, os países Angola, Guiné-Bissau, Moçambique, São Tomé e Príncipe e Timor-Leste não serão avaliados, uma vez que não há dados disponíveis de capacidade instalada desta fonte de energia no *website* da IRENA. Para todos os países que utilizam desta fonte apresentaram um baixo incremento em sua capacidade instalada.

Por sua vez, para biomassa, os países Cabo Verde, Guiné-Bissau, São Tomé e Príncipe e Timor-Leste não serão avaliados, uma vez que não há dados disponíveis de capacidade instalada desta fonte de energia no *website* da IRENA. Novamente nota-se, de forma significativa, o destaque da capacidade instalada no Brasil em Portugal em detrimento dos outros países, mostrando a necessidade para os países em desenvolvimento investirem no incentivo ao uso desta fonte de acordo com a capacidade e também com os aspectos econômicos e sociais.

Por fim, para a fonte hidráulica, os países Cabo Verde, Guiné-Bissau, São Tomé e Príncipe e Timor-Leste não serão avaliados, uma vez que não há dados disponíveis de capacidade instalada desta fonte de energia no *website* da IRENA. Vale ressaltar que há uma tendência de crescimento na capacidade instalada desta fonte em todos os países analisados novamente, mas somente o Brasil apresenta um perfil ascendente na inserção de novas unidades geradoras. Vale ressaltar que, de maneira geral, há um crescimento na capacidade instalada de todas as fontes analisadas em todos os países, mas comum grande destaque para Brasil e Portugal.

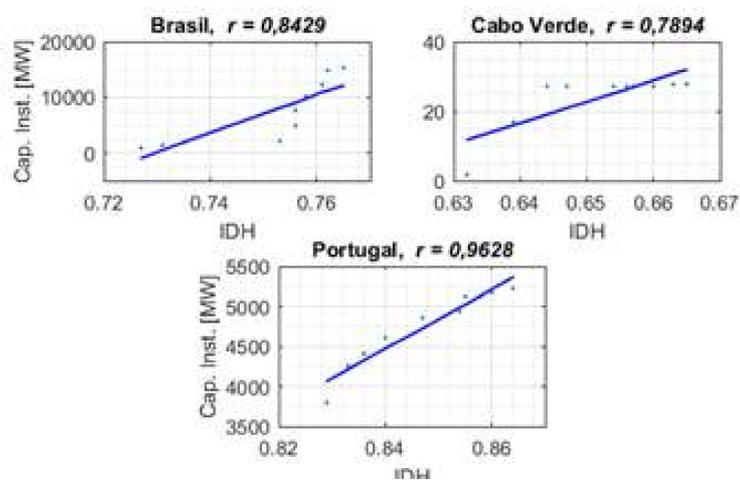
As Figuras 69-72 mostram, respectivamente, a correlação da capacidade instalada das fontes e o IDH dos países estudados.

Figura 69 – Correlação da capacidade instalada solar e o IDH dos países.



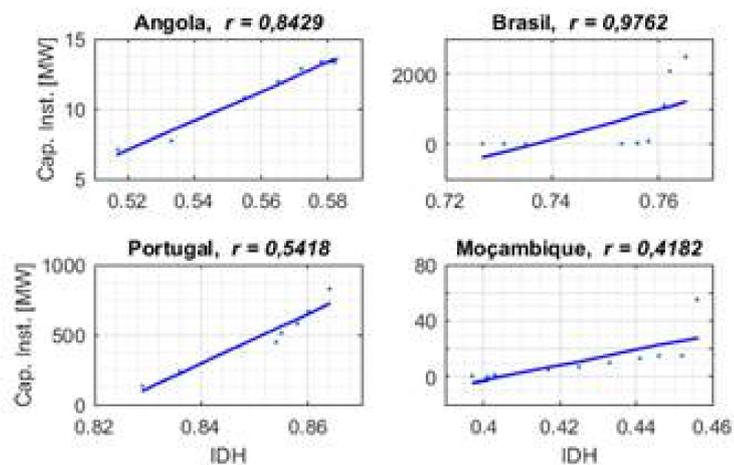
Fonte: Autora, a partir do *software* MATLAB.

Figura 70 – Correlação da eólica *onshore* e o IDH dos países.



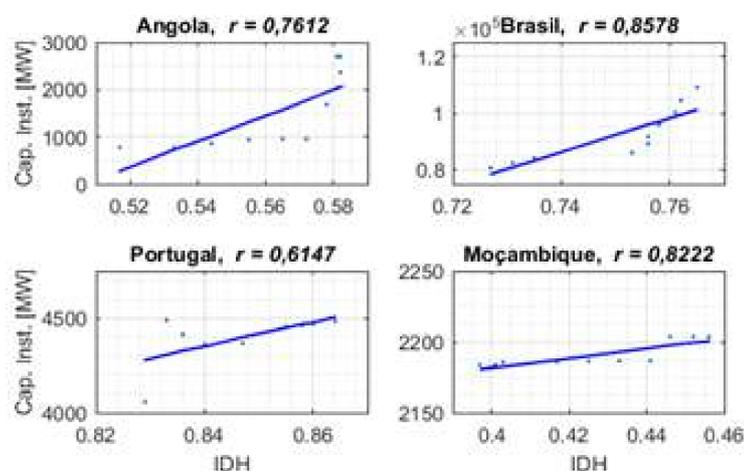
Fonte: Autora, a partir do *software* MATLAB.

Figura 71 – Correlação da biomassa e o IDH dos países.



Fonte: Autora, a partir do *software* MATLAB.

Figura 72 – Correlação da hidráulica e o IDH dos países.



Fonte: Autora, a partir do *software* MATLAB.

A Tabela 30 apresenta os valores calculados dos coeficientes de *Pearson*, bem como a interpretação dos resultados.

A partir dos resultados, é possível confirmar a hipótese de que a crescente inserção do uso de fontes renováveis na matriz energética dos países se relaciona fortemente com o IDH. Tal afirmação é evidenciada quando são analisadas as correlações dos países Portugal e Brasil, que dentro os membros da CPLP são os que fazem uso de todas as fontes analisadas, e apresentam uma alta correlação positiva, no geral.

Dos países do continente Africano, Cabo-Verde e São Tomé e Príncipe, juntamente com o Timor-Leste, localizado no continente Asiático, são os que apresentam os maiores IDH, como visto na Figura 4. Para o Cabo-Verde, a crescente do IDH é correlacionada ao aumento de fontes solar e eólica; São Tomé e Príncipe, por sua vez, correlaciona-se altamente com a fonte solar; e, por fim, Timor-Leste, que nos últimos anos segue uma tendência de decaimento do IDH, possui uma correlação alta, porém negativa, com a fonte solar, o que pode ser explicado pelo baixo aumento da capacidade instalada nos últimos anos.

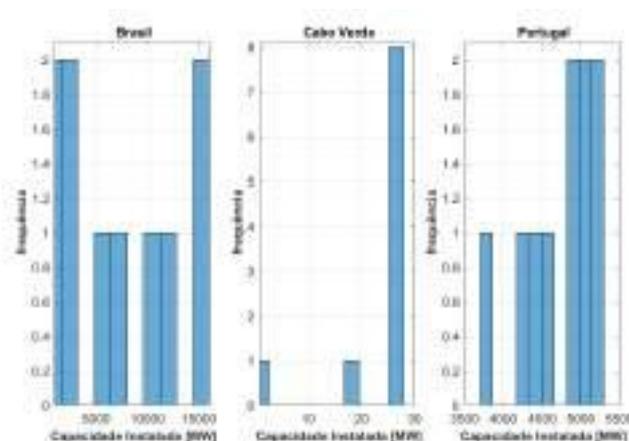
Especificamente, para o caso da fonte eólica, é possível observar o histograma da capacidade instalada para cada país, conforme mostrado na Figura 73. O histograma mostra a frequência que cada capacidade instalada da fonte é encontrada em cada um dos países estudados. Para a plotagem do histograma foi utilizado o comando *histogram* no *software* MATLAB. O histograma é uma ferramenta estatística utilizada para a realização de análises e representações de dados quantitativos, os quais são agrupados em classes de frequência, de modo que se torna possível distinguir a forma, o ponto central e a variação da distribuição dos mesmos, além de diversas outras características, como a amplitude e a simetria nessa distribuição.

Neste contexto, como pode ser observado no histograma, há uma variação mensal

Tabela 30 – Coeficientes de correlação de *Pearson* (r).

Países	r	Interpretação
SOLAR		
Angola	0,9915	Positiva muito alta
Brasil	0,6030	Positiva moderada
Cabo Verde	0,8153	Alta correlação positiva
Guiné-Bissau	0,7953	Alta correlação positiva
Portugal	0,9710	Positiva muito alta
Moçambique	0,7471	Alta correlação positiva
São Tomé e Príncipe	0,9583	Positiva muito alta
Timor-Leste	-0,8073	Alta correlação negativa
EÓLICA onshore		
Brasil	0,8429	Alta correlação positiva
Cabo Verde	0,7894	Alta correlação positiva
Portugal	0,9628	Positiva muito alta
BIOMASSA (biocombustíveis sólidos)		
Angola	0,8857	Alta correlação positiva
Brasil	0,9762	Positiva muito alta
Portugal	0,5418	Positiva moderada
Moçambique	0,4188	Baixa correlação positiva
HIDRÁULICA		
Angola	0,7612	Alta correlação positiva
Brasil	0,8578	Alta correlação positiva
Portugal	0,6147	Positiva moderada
Moçambique	0,8222	Alta correlação positiva

Fonte: Autora, a partir do *software* MATLAB.

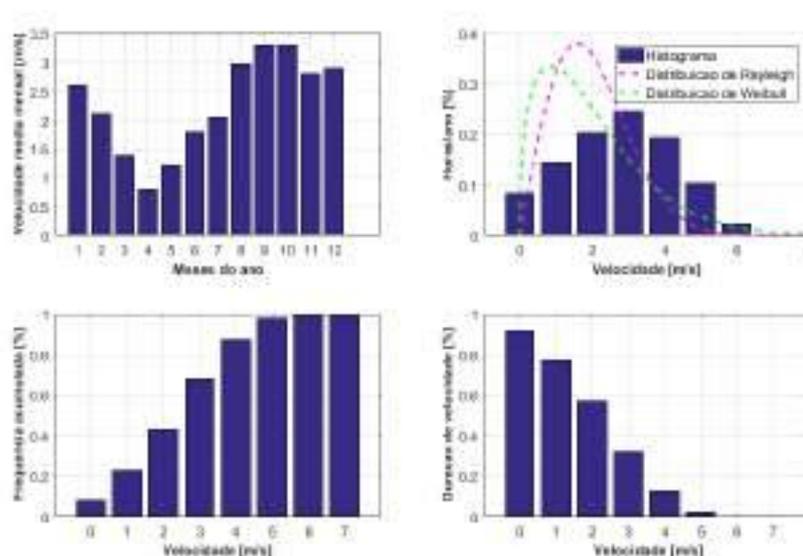
Figura 73 – Histograma da capacidade instalada de eólica (*onshore*).

Fonte: Autora, a partir do *software* MATLAB.

de acordo com a sazonalidade existente durante o ano, isso quer dizer que, para os meses mais secos a velocidade média dos ventos é mais baixa com relação aos meses mais úmidos, tornando a fonte renovável eólica intermitente.

Pode-se modelar o comportamento previsto do comportamento da fonte eólica, através da distribuição de *Rayleigh* e *Weibull*, detalhadas no Apêndice C. Por se tratar de uma fonte intermitente, é importante esta previsão dos ventos, para a estimação da geração da fonte prevista. Visando abordar a metodologia de distribuição de *Rayleigh* e *Weibull*, este trabalho apresenta um breve estudo, utilizando, como exemplo, o país Brasil, através de um arquivo de dados o histórico de velocidade do vento em Fortaleza/CE ao longo dos 12 meses do ano de 2014. As curvas obtidas podem ser observadas na Figura 74.

Figura 74 – Curvas para um dado histórico de velocidade do vento no Brasil no ano de 2014.



Fonte: Autora, a partir do *software* MATLAB.

Com relação a distribuição anual dos ventos, a distribuição de *Rayleigh* quando comparada a distribuição discreta, obtém uma boa aproximação, entretanto, não ocorre uma representação exata do comportamento do vento. A representação mais precisa é obtida através da distribuição de *Weibull*, como mostrado na Figura 74 para o ano de 2014. A função da distribuição de *Weibull* leva em consideração o desvio padrão dos dados coletados, sendo este um parâmetro estatístico, do qual traz a informação das incertezas com que podem ocorrer as velocidades previstas a partir dos dados coletados em um certo período, dessa forma, pode ser empregada nos trabalhos de avaliação de potenciais eólicos.

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Todas as análises estatísticas implementadas neste trabalho foram desenvolvidas através de implementações em ambiente de programação do *software* MATLAB. Esta seção teve como principal objetivo explicar, através de alguns exemplos, como a análise estatística é extremamente importante para auxiliar em processos de tomada de decisão e previsão de dados, para diversas questões relacionadas ao contexto energético.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões e discussões abordadas através da pesquisa, trazendo os principais destaques relacionados aos países da CPLP estudados, bem como a contribuição da elaboração do novo índice de desenvolvimento dos países, no contexto da transição energética. Além disso, os aspectos relacionados aos indicadores de desenvolvimento humano, social e eletroenergéticos também serão explanados, bem como a inter-relação entre estes indicadores para os países estudados.

5.1 CONCLUSÕES

A transição energética já é uma realidade e um desafio global. Neste contexto, a temperatura terrestre vem aumentando de maneira significativa ao longo dos anos e, a comunidade científica, é unânime em atribuir a causa deste aumento às emissões de GEE, intensificado a partir da revolução industrial. O aquecimento global, além de provocar o derretimento das geleiras e o aumento do nível do mar, desencadeia outras mudanças climáticas, como a desertificação e o aumento de fenômenos extremos, entre os quais furacões, inundações e incêndios.

O principal instrumento para alcançar o objetivo de limitar a temperatura terrestre e diminuir os danos causados pelos eventos extremos, causados pelas mudanças climáticas é a transição energética, ou seja, a passagem de uma matriz energética focada nos combustíveis fósseis para uma com baixa ou zero emissões de carbono, baseada em fontes renováveis. Portanto, substituir a eletricidade produzida a partir de fontes fósseis pela gerada a partir de fontes renováveis é uma grande forma de contribuição para a descarbonização mundial. O termo transição energética, vem sendo substituído pelo termo transformação energética, justamente por todo impacto profundo que esse processo vem implementando na sociedade. Esta mudança significa uma vantagem não apenas para o clima, mas para a economia e a sociedade como um todo, uma vez que a digitalização das redes permite criar redes inteligentes, abrindo o caminho para novos serviços aos consumidores e a eletrificação dos setores também contribui para o controle das emissões. Do ponto de vista ambiental, as fontes renováveis e a mobilidade elétrica reduzem a poluição, e as usinas a carvão podem ser convertidas em uma ótica de economia circular. Quanto à sustentabilidade social, novas formas de trabalho podem empregar pessoas no setor "verde". É importante destacar que a transição energética seja realizada de forma justa, inclusiva e sustentável.

Assim, países como Portugal, possuem uma responsabilidade significativa no processo de descarbonização global, isso porque são países que atingiram seu pleno desenvolvimento através da exploração de fontes não renováveis no século XIX. Além disso, todos os demais países da CPLP estudados foram colônias portuguesas, contribuindo para a exploração de riquezas e recursos naturais, fortalecendo a economia portuguesa.

Dentro deste contexto, a partir do novo índice de desenvolvimento calculado neste trabalho, Portugal é líder no processo de transição energética, com altos indicadores relacionados ao IDH, excelente acesso à eletricidade, uso de energias renováveis e capacidade de geração de energia no país, contando com um desenvolvimento sólido e eficaz de políticas que facilitam e regulamentam a transição energética. Porém, para atingir este nível de desenvolvimento, foi necessário o seu fortalecimento econômico, favorecido por suas colônias no passado, e, além disso, o seu tamanho territorial e populacional que facilita a distribuição mais igualitária de recursos no país.

Com relação ao Brasil, observa-se que é um país ainda com muitos desafios, principalmente nos aspectos humano e sociais, com grande parte da população ainda em situação de pobreza e vulnerável. Porém, do ponto de vista energético, o país se destaca por ter uma matriz elétrica predominantemente renovável, com políticas voltadas para o acesso universal de eletricidade, inclusive em áreas rurais e remotas, e com capacidade de geração de energia para abastecer o país de forma suficiente. Por outro lado, ainda é necessário maiores definições e políticas regulamentares mais claras e eficazes para que o país seja considerado líder no processo de transição energética.

Já os países localizados no continente Africano, possuem disparidades com relação ao nível de desenvolvimento humano e ainda uma grande dependência dos combustíveis fósseis para a geração de energia, se tornando cada vez mais imprescindível a discussão da transição energética voltada para a realidade destes países, os quais se encontram divididos entre a necessidade de desenvolvimento econômico, através das descobertas de reservas de petróleo e gás, e o incentivo a fontes renováveis de energia. Neste sentido, se mostra cada vez mais necessário a criação de fundos de investimentos internacionais, voltados para a promoção e desenvolvimento de projetos de energias renováveis nestes países. Outro aspecto muito marcante nos países do continente Africano, é a instabilidade política e corrupção que é presente em grande maioria, sendo um reflexo dos processos de formação e dos governos autoritários e sem transparência, presente em algumas destas nações.

Importante notar que alguns dos pontos destacados sobre os países do continente Africano também são notados no Timor-Leste, país localizado no continente Asiático, mas com um processo de formação muito recente e com diversos conflitos e instabilidade política. O país possui alguns desafios do ponto de vista energético, ainda completamente dependente dos combustíveis fósseis. Portanto, se torna muito necessário a definição e implementação de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento energético sustentável no país.

Ao longo deste estudo, foi possível perceber a complexidade e a interconexão dos diversos aspectos sociais, econômicos e energéticos envolvidos na transição energética. A aplicação da lógica *fuzzy* mostrou-se uma ferramenta valiosa para compreender essas nuances, identificar padrões emergentes e ser uma ferramenta de inteligência artificial eficaz,

com relação a priorização dos países, no contexto da transição energética. Observa-se que, embora alguns países da CPLP tenham avançado significativamente em direção a uma matriz elétrica mais sustentável, outros ainda enfrentam obstáculos e desafios consideráveis, tais discrepâncias ressaltam a necessidade de políticas públicas direcionadas e investimentos estratégicos para promover uma transição energética equitativa e inclusiva global.

Além disso, é extremamente importante a colaboração internacional e do intercâmbio de conhecimentos e recursos para impulsionar o progresso nesta temática. A transição energética é um desafio global que requer esforços coordenados e compromisso de todas as partes interessadas. Assim, neste capítulo de conclusão, o contexto da avaliação da transição energética nos países da CPLP sob a ótica da lógica *fuzzy* são revisitados e destacados os principais resultados obtidos e a importância de uma abordagem integrada para lidar com os desafios energéticos globais. Portanto, destaca-se a importância de uma abordagem holística e sustentável para a gestão dos recursos energéticos, visando não apenas a mitigação das mudanças climáticas, mas também o desenvolvimento econômico e socioambiental das comunidades locais. É de fundamental importância a manutenção da busca por soluções inovadoras e colaborativas para garantir um futuro energético mais resiliente e inclusivo para as próximas gerações.

O sistema de inferência *fuzzy* proposto é capaz de propor um novo índice de desenvolvimento social e eletroenergético para os países da CPLP de forma satisfatória. Além disso, apresenta um bom ponto de partida para estudos mais profundos com relação ao tema. Podendo ser uma ferramenta adotada para a classificação e avaliação de países de forma mundial. Ademais, conclui-se que a partir do trabalho desenvolvido, tem-se uma importante aplicação dos coeficientes de correlação de *Pearson* com relação à capacidade instalada de fontes renováveis e o IDH dos países selecionados da CPLP. Atesta-se uma forte e explícita relação entre o crescimento do uso da fonte de energia renovável com relação ao IDH dos países, demonstrando a necessidade de maior aproveitamento destas fontes em países em desenvolvimento, além da necessidade de políticas de incentivo para a maior utilização de tais fontes, contribuindo também para o desenvolvimento econômico e social do país, principalmente no continente Africano.

5.2 PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

A seguir estão apresentados alguns pontos relevantes que podem ser melhor explorados em trabalhos futuros sobre o tema:

- Para que o resultado seja ainda mais realístico, pode-se fazer um estudo mais detalhado das regras *fuzzy* a serem utilizadas para o sistema de *defuzzificação* no programa implementado.
- Mudança na forma como as variáveis são modeladas no sistema *fuzzy* também podem

interferir no resultado obtido. Por exemplo, ao invés da variável ser modelada de forma triangular utilizar o modelo trapezoidal ou outro modelo que represente de forma mais fidedigna o problema proposto.

- Mudança no modelo de *defuzzyficação* do problema, utilizar método diferente do centro de gravidade, que pode ser mais adequado ao problema proposto.
- Uso de outras metodologias que permitam analisar correlação entre as variáveis, o estudo de outras variáveis como geração, acessibilidade à energia elétrica e incentivos à redução de combustíveis fósseis.
- Ampliar este trabalho para os estudos de outras variáveis de entrada, aumentar as variáveis de saída e também expandir a resolução para outros países do globo, entre outras adequações.

REFERÊNCIAS

- ADELINO, D. Avaliação do investimento em infraestrutura urbana e rural na autarquia da cidade de nampula-moçambique. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 3, n. 9, p. e391833–e391833, 2022.
- ANGOLA, J. de. **O sector eléctrico em Angola**. 2016. Disponível em: <https://www.jornaldeangola.ao/ao/noticias/detalhes.php?id=349714>.
- ARLOTA, C.; COSTA, H. K. de M. Chapter 20 - climate change, carbon capture and storage (ccs), energy transition, and justice: where we are now, and where are (should be) we headed? In: de Medeiros Costa, H. K.; ARLOTA, C. (Ed.). **Carbon Capture and Storage in International Energy Policy and Law**. Elsevier, 2021. p. 385–393. ISBN 978-0-323-85250-0. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323852500000190>.
- ARMSTRONG, G.; ADAM, S.; DENIZE, S.; KOTLER, P. **Principles of marketing**. [S.l.]: Pearson Australia, 2014.
- ASSOCIATION, I. D. Mozambique energy for all (proenergia) project. **The World Bank**, 2019. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/fr/594061554084119829/pdf/Mozambique-Energy-for-All-ProEnergia-Project.pdf>.
- BANK, A. D. Country strategy paper 2018-2022. **Republic of Equatorial Guinea**, 2018.
- BANK, A. D.; OECD; UNDP. **African Economic Outlook 2017**. [s.n.], 2017. 316 p. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/aeo-2017-en>.
- BANK, A. D.; OECD; UNDP. **African Economic Outlook 2023**. [s.n.], 2023. 236 p. Disponível em: <https://www.afdb.org/en/documents/african-economic-outlook-2023>.
- BANK, T. W. **O Banco Mundial em Angola**. 2023. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/country/angola/overview>.
- BANK, T. W. **O Banco Mundial em Cabo Verde**. 2023. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/country/caboverde/overview>.
- BANK, T. W. **O Banco Mundial em Moçambique**. 2023. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/country/mozambique/overview>.
- BANK, T. W. **Reforçar a Resiliência das Populações Vulneráveis**. 2023. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/news/press-release/2023/03/21/-building-resiliencia-for-vulnerable-populations-world-bank-report-shares-recommendations-to-improve-social-assistance-in>.
- BANK, T. W. **The World Bank - Data**. 2023. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?end=2021&start=2000>.
- BANK, W. **Turning Smallness into Uniqueness: Six Key Challenges to Unlock Sao Tome and Principe Growth's Potential**. [S.l.]: World Bank, 2019.

- BOMPARD, E.; BOTTERUD, A.; CORGNATI, S.; HUANG, T.; JAFARI, M.; LEONE, P.; MAURO, S.; MONTESANO, G.; PAPA, C.; PROFUMO, F. An electricity triangle for energy transition: Application to Italy. **Applied Energy**, Elsevier, v. 277, p. 115525, 2020.
- BOUAKKAZ, A.; MENA, A. J. G.; HADDAD, S.; FERRARI, M. L. Efficient energy scheduling considering cost reduction and energy saving in hybrid energy system with energy storage. **Journal of Energy Storage**, v. 33, p. 101887, 2021. ISSN 2352-152X. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X20317242>.
- BRASIL, R. F. do. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil/_03/constituicao/constituicao.htm.
- BRIDGE, A. **Portugal: Um dos Líderes em Energia Limpa na Europa**. 2022. Disponível em: <https://blog.atlanticbridge.com.br/portugal-um-dos-lideres-em-energia-limpa-na-europa>.
- BRUTINEL, M.; WANG, Y.; KOO, B. B.; PORTALE, E.; RYSANKOVA, D. São tomé and príncipe-beyond connections. World Bank, Washington, DC, 2019.
- CAMPBELL, M. J. **Statistics at square one**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2021.
- CARNEIRO, J.; GONÇALVES, A.; IGLESIAS, R.; MONIZ, C.; BORGES, M.; PEREIRA, E.; MANUEL, A.; MOTA, G. Carbon capture and storage in the community of portuguese language countries: Opportunities and challenges. Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, 2015.
- CARRAPATOSO, N. M. **Os principais desafios de Portugal**. 2021. Disponível em: <https://observador.pt/opiniao/os-principais-desafios-de-portugal>.
- CARVALHO, J. Combustíveis fósseis e insustentabilidade. **Ciência e Cultura**, v. 60, p. 30–33, 2008.
- CARVALHO, J. R. Equilíbrios instáveis: o golfo da guiné e a economia do petróleo. 2018.
- CASTEL-BRANCO, C. N.; ALI, R.; CHICHAVA, S.; FORQUILHA, S.; MUIANGA, C. **Desafios para Moçambique, 2022**. [S.l.]: IESE, 2022.
- CHEN, B.; XIONG, R.; LI, H.; SUN, Q.; YANG, J. Pathways for sustainable energy transition. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 228, p. 1564–1571, 2019.
- CIA. **The World Factbook**. 2023. Disponível em: <https://www.cia.gov/the-world-factbook>.
- CLIMA, A. **Alterações Climáticas em Portugal**. 2023. Disponível em: <https://www.ativaclima.pt/pt/as-alteracoes-climaticas-em-portugal/metas-de-acao>.
- CLIMA, F. V. para o. **Documentação do Fundo Verde para o Clima**. 2019. Disponível em: <https://www.greenclimate.fund/sites/default/files/document/timor-leste-country-programme.pdf>.
- COMBA, Z. N. Produção de caju e o seu impacto na economia e no ambiente: Caso guiné-bissau. 2022.

CORREIA, N. G. Fomentar o desenvolvimento socioeconômico através da exploração dos recursos naturais de forma sustentável na guiné-bissau. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 10, p. 5869–5884, 2023.

COSTA, F. de J. A globalização e o futuro da comunidade dos países de língua portuguesa – cplp. **Coleção Meira Mattos: Revista das Ciências Militares**, v. 13, n. 48, p. 223–251, 2019.

COSTA, N. R. da. **Análise da Utilização de Painéis Fotovoltaicos em Timor-Leste**. Tese (Doutorado) — Universidade do Minho (Portugal), 2013.

CPLP. **Comunidade dos Países de Língua Portuguesa - CPLP**. 2023. Disponível em: <https://www.cplp.org/id-2752.aspx>.

CPLP. 2023. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/encceja-2/480-gabinete-do-ministro-1578890832/assessoria-internacional-1377578466/20743-comunidade-dos-paises-de-lingua-portuguesa-cplp>.

CRUZ, G. S. P. d. V. **A democracia em S. Tomé e Príncipe, instabilidade política e as sucessivas quedas dos governos**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Universitário de Lisboa (Iscte), 2014.

CRUZ, V. F. da. **Perspetivas De utilização Do Potencial eólico Em Timor-Leste**. Tese (Doutorado) — Universidade de Évora (Portugal), 2016.

CRUZ, W. E. C. d. **Identificar soluções para diminuir a dependência económica externa de São Tomé e Príncipe**. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Évora, 2020.

DELOITTE. **Impacto da eletricidade da origem renovável**. 2023. Disponível em: <https://www.apren.pt/contents/documents/apren-estudo-impacto-da-eletricidade-de-origem-renovavel.pdf>.

DESENVOLVIMENTO, G. B. A. de. **Perspetiva Económica**. [s.n.], 2022. Disponível em: <https://www.afdb.org/pt>.

Di Silvestre, M. L.; FAVUZZA, S.; Riva Sanseverino, E.; ZIZZO, G. How decarbonization, digitalization and decentralization are changing key power infrastructures. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 93, p. 483–498, 2018. ISSN 1364-0321. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118304283>.

DUARTE, P. A. B.; ALBUQUERQUE, R.; TAVARES, A. M. L. **Portugal and the Lusophone World: Law, Geopolitics and Institutional Cooperation**. [S.l.]: Springer, 2023.

ECONOMIA, M. da. **Nota informativa: Atividade Económica, Resultado do PIB 2020 e Perspectivas**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/notas-informativas/2021/ni-atividade-economica-pib-2020-e-perspectivas.pdf>.

ECUATORIAL, G. Proyecto de fortalecimiento del sistema nacional de inversiones públicas y monitoreo del plan nacional horizonte 2020. **Página Web Institucional del Gobierno**, 2015.

ECUATORIAL, R. de G. **Informe Nacional Voluntario Guinea Ecuatorial 2022**. [s.n.], 2022. 108 p. Disponível em: <https://hlpf.un.org/sites/default/files/vnrs/2022/VNR%202022%20Equatorial%20Guinea%20Report.pdf>.

ELKINGTON, J. 25 years ago i coined the phrase “triple bottom line.” here’s why it’s time to rethink it. **Harvard business review**, v. 25, p. 2–5, 2018. Harvard Business School Publishing Brighton, MA, USA.

ELPAÍS. **A Guiné Equatorial entra na Comunidade de Países de Língua Portuguesa**. 2014. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2014/07/20/internacional/1405852956_098717.html.

ENERGY, E. T. S. **Country Overview**. 2010. Disponível em: <http://www.se4all.ecreee.org/content/guinea-bissau>.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia**. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>.

EQUATORIAL, I. N. de Estatística de G. **Agenda Guinea Ecuatorial 2035**. 2023. Disponível em: <https://inege.gq/wp-content/uploads/2023/10/ENDS-2035-1.pdf>.

ESPERANÇA, A. F. d. B. Análise do setor elétrico de são tomé e príncipe. 2018.

ESTATÍSTICAS, I. N. de. **Estatísticas Económicas**. 2020. Disponível em: <https://www.ine.gov.mz/>.

EUROPEIA, U. **History and purpose**. 2023. Disponível em: <https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/euro/history-and-purpose>.

EUROPEIA, U. ao. **Financiamento NextGenerationEU**. 2023. Disponível em: https://next-generation-eu.europa.eu/index_pt.

EUROSISTEMA. Evolução das economias dos palop e de timor-leste. **Banco de Portugal**, p. 66, 2019.

EXTERIORES, M. das R. **Guia de Negócios - Guiné Bissau**. 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/mre/pt-br>.

FILHO, P. N. M.; XAVIER, A. R.; ALCÓCER, J. C. A. Modelo energético e desenvolvimento sustentável: O uso de energias renováveis em cabo verde. **Revista Educação Ambiental**, ISSN 1678-0701, 2018.

FMI. **Conselho de Administração do FMI aprova apoio de emergência a Guiné Equatorial no montante de USD 67,38 milhões para fazer face a pandemia de Covid-19 e as explosões acidentais**. [s.n.], 2021. Disponível em: <https://www.imf.org/pt/News/Articles/2021/09/15/pr21266-equatorial-guinea-imf-exe-c-board-approves-emergency-support-covid-19-accidental-explosions>.

FMI. World economic outlook. **International Monetary Fund**, 2022.

FMI. Relatório do fmi 23/262 cabo verde. **Fundo Monetário Internacional**, 2023.

FORBES. **Guiné Equatorial prepara-se para ser um centro regional de energia**. 2021. Disponível em: <https://www.forbesafricalusofona.com/guine-equatorial-prepara-se-para-se-tornar-num-centro-regional-de-energia/>.

FORTES, A. G.; BEIRÃO, H. A. F.; MAMUDO, A. A. Complementaridade hidrossolar em moçambique e as questões de sustentabilidade energética. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 11, n. 22, p. 101–113, 2022.

FORUM, W. E. **Fostering Effective Energy Transition 2023 Edition**. [s.n.], 2023. In collaboration with Accenture. Disponível em: <https://www.weforum.org/publications/fostering-effective-energy-transition-2023/>.

GEBREGZIABHER, F. H.; SALA, A. P. As dívidas ocultas de moçambique: Transformar a crise numa oportunidade para reformas. **Banco Mundial**, 2022. Disponível em: <https://blogs.worldbank.org/pt/african/dividas-ocultas-de-mocambique-transformar-crise-numa-oportunidade-para-reformas>.

GOALS, S. D. **Voluntary National Review on the Implementation of the 2030 Agenda for Sustainable Development**. [s.n.], 2021. 168 p. Disponível em: <https://sdgs.un.org/partnerships>.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; LUCON, O. How adequate policies can push renewables. **Energy Policy**, Elsevier, v. 32, n. 9, p. 1141–1146, 2004.

GONÇALVES, H.; LEÃO, T. P. de. **Fórum Energias Renováveis em Portugal 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.lneg.pt/wp-content/uploads/2020/11/F\%C3\%B3rum-Energias-Renov\%C3\%A1veis-em-Portugal-2020.pdf>.

GOV.BR, P. **Governo retoma Luz para Todos e interliga municípios do Norte ao sistema elétrico**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2023/08/governo-retoma-luz-para-todos-e-interliga-municipio-s-do-norte-ao-sistema-eletrico>.

GROUP, A. D. B. **African Development Bank Group Projeto: Guiné-Bissau distribuição projeto de melhoria (PDSDE)**. [S.l.: s.n.], 2018.

GROUP, F. **Descarbonização Portugal: Objetivos e Apoios**. 2022. Disponível em: <https://pt.fi-group.com/descarbonizacao-em-portugal-objetivos-e-formas-de-financiamento/>.

GUIMARÃES, K. A. A. **Projeto de um controlador fuzzy PID para controle de velocidade de um MRV**. Tese (Doutorado) — Universidade Paulista (UNIP), 06 2017.

HUBBERT, M. K. Energy from fossil fuels. **Science**, v. 109, p. 103–109, 1949.

HUGHES, T. P. **Networks of power: electrification in Western society, 1880-1930**. [S.l.]: JHU press, 1993.

IBGC. **Boas práticas para uma agenda ESG nas organizações**. São Paulo, SP: Instituto Brasileiro de Governança Corporativa, 2022.

IBGE. **Em 2021, pobreza tem aumento recorde e atinge 62,5 milhões de pessoas, maior nível desde 2012**. 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/35687-em-2021-pobreza-tem-aumento-recorde-e-atinge-62-5-milhoes-de-pessoas-maior-nivel-desde-2012>.

IEA. **World Energy Outlook 2016 – Methodology for Energy Access Analysis**. 2016. Disponível em: <https://www.iea.org/analysis?type=report>.

- IEA. **International Energy Agency**. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/>.
- IGNÁCIO, S. A. Importância da estatística para o processo de conhecimento e tomada de decisão. **Revista Paranaense de Desenvolvimento - RPD**, n. 118, p. 175–192, fev 2012. Disponível em: <https://ipardes.emnuvens.com.br/revistaparanaense/article/view/89>.
- INDI, E. A. Importância de planejamento integrado de recursos pir para planejamento energético de longo prazo na guiné-bissau. 2022.
- INDÚSTRIA, P. da. **Entenda a economia do Brasil, seu contexto, atualidades e perspectiva**. 2023. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/economia/>.
- INSTITUTE, E. **Statistical Review of World Energy 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.energyinst.org/statistical-review/resources-and-data-downloads>.
- INTERNACIONAL, T. **Índice de Percepção da Corrupção 2022**. 2022. Disponível em: <https://transparenciainternacional.org.br/ipc/>.
- IPCC. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA: H.-O. Portner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Loschke, V. Moller, A. Okem, B. Rama (eds.), 2022. 3056 p.
- IPCC. **Summary for Policymakers**. Geneva, Switzerland: Climate Change 2023: Synthesis Report, 2023. pp. 1-34 p.
- IRENA. **Energy profile**. 2023. Agência Internacional de Energias Renováveis. Disponível em: <https://www.irena.org/Data/Energy-Profiles>.
- IRENA. **World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway**. 2023. Disponível em: www.irena.org/publications.
- JESUS, C. P. M. de. **Impacto Macroeconómico do Sector das Energias Renováveis em Portugal**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Catolica Portuguesa (Portugal), 2011.
- KAN, S.; CHEN, B.; WU, X.; CHEN, Z.; CHEN, G. Natural gas overview for world economy: From primary supply to final demand via global supply chains. **Energy Policy**, v. 124, p. 215–225, 2019. ISSN 0301-4215. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518306566>.
- LAPÃO, M. J. C. The sustainable development goals and the community of portuguese speaking countries (cplp) in the post-covid-19 era. **Porto Biomedical Journal**, Faculty of Medicine of the University of Porto, v. 5, n. 6, 2020.
- MAPCHART. **World Map**. 2023. Disponível em: <https://www.mapchart.net/world.html>.
- MAZUR, A. Does increasing energy or electricity consumption improve quality of life in industrial nations? **Energy Policy**, Elsevier, v. 39, n. 5, p. 2568–2572, 2011.
- MEDEIROS, O. **São Tomé continua às escuras**. 2013. Disponível em: <https://www.voaportugues.com/a/sao-tome-continua-as-escuras/1728276.html>.

MENDONÇA, A. R.; CARVALHO, M. L. da S.; HENRIQUES, P. D. de S. Desafios para o desenvolvimento do turismo em timor-leste. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 46, n. 3, p. 251–262, 2023.

MENDONÇA, S. d. S. **Petróleo: um contributo para o desenvolvimento em São Tomé e Príncipe**. Tese (Doutorado) — Universidade Nova de Lisboa, 2015.

MERCOSUL. **Mercosul - Quem Somos**. 2023. Disponível em: <https://www.mercosur.int/pt-br/>.

MOÇAMBIQUE, E. de. **EDM Strategy 2018-2028**. 2018. Disponível em: https://www.edm.co.mz/sites/default/files/documents/Reports/EDM_STRATEGY_2018_2028.pdf.

MONTEIRO, A. D. O impacto das energias renováveis na economia dos países emergentes: o caso de cabo verde. **Programa de Pós-Graduação em Gestão de Empresas**, Instituto Universitário de Lisboa, v. 91, 2012.

MUKAKA, M. M. Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi medical journal: the journal of Medical Association of Malawi**, v. 23,3, p. 69–71, 2012.

MUNDIAL, B. Memorando econômico do país - guiné-bissau. **Relatório N. 58296-GW - Documento do Banco Mundial**, 2015.

NADIMI, R.; TOKIMATSU, K. Modeling of quality of life in terms of energy and electricity consumption. **Applied energy**, Elsevier, v. 212, p. 1282–1294, 2018.

NASA. **Night Light Maps Open Up New Applications**. 2018. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/90008/night-light-maps-open-up-new-applications>.

NDAPASSOA, A. O desafio de moçambique por um desenvolvimento sustentável em contexto de energias renováveis. **Revista Direitos Fundamentais & Democracia**, v. 27, n. 2, p. 241–263, 2022.

OBSERVADOR. **Investimento estrangeiro em Cabo Verde aumentou 8,5% e continua a ser liderado por Portugal**. 2023. Disponível em: <https://observador.pt/2023/06/29/investimento-estrangeiro-em-cabo-verde-aumentou-85-e-continua-a-ser-liderado-por-portugal>.

ONU. **Perspectiva Global Reportagens Humanas - Cabo Verde quer chegar a 2030 com mais de 50% de energia renovável**. 2020. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2020/09/1727842>.

ONU. **Perspectiva Global Reportagens Humanas - Economia de Cabo Verde pode “dar o salto qualitativo”**. 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/10/1804007>.

ONU. **Pobreza impede 68% da população da Guiné-Bissau de ter dieta nutritiva**. 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/04/1785502>.

ONU. **Moçambique e Angola integram lista dos países com maior déficit energético**. 2023. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/06/1815527>.

- ORGANIZATION, U. N. I. D. **Plano de Acção Nacional das Energias Renováveis (PANER) São Tomé e Príncipe**. 2021. 108 p. Disponível em: https://dgrne.org/sites/default/files/2022-01/2021_STP_PANER_V3.0.pdf.
- PAIVA, K. C.; PIMENTEL, J.; RIBON, C.; VITOR, L. P. O pobre país rico: um estudo sobre a guiné equatorial e a precariedade de seus indicadores sociais. **Relações Exteriores**, 2023. Disponível em: <https://relacoesexteriores.com.br/o-pobre-pais-rico-u-m-estudo-sobre-a-guine-equatorial-e-a-precariedade-de-seus-indicadores-sociais>.
- PANOS, E.; DENSING, M.; VOLKART, K. Access to electricity in the world energy council's global energy scenarios: An outlook for developing regions until 2030. **Energy Strategy Reviews**, v. 9, p. 28–49, 2016. ISSN 2211-467X. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X15000450>.
- PEREIRA, A. Timor-leste: Investimento para todos. **e3-Revista de Economia, Empresas e Empreendedores na CPLP**, v. 3, n. 1, p. 75–104, 2017.
- PEREIRA, A. C. M. **Da vertente política à económica na CPLP: estudo de formas de estreitamento das relações económicas dos Estados Membros**. Tese (Doutorado) — Universidade de Lisboa (Portugal), 2014.
- PINHO, M. J. das Neves Correia de. **E se Portugal não tivesse aderido a União Económica e Monetária?** 2010. 60 p. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16670/1/Tese.pdf>.
- PNUD. **Relatório do Desenvolvimento Humano de 2021/2022**. 2023. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/desenvolvimento-humano/publications/relatorio-de-desenvolvimento-humano-2021-22>.
- PÓLIS, I. **Justiça energética nas cidades brasileiras, o que se reivindica?** 2022. Disponível em: <https://polis.org.br/estudos/justica-energetica/>.
- PORTUGAL. **Tecnologias de informação estudo reforça potencial português no setor**. 2023. Disponível em: <https://www.portugalglobal.pt/PT/RevistaPortugalglobal/2023/Documents/revista-160-janeiro.pdf>.
- PORTUGAL, B. de. **Novas Séries Longas para a Economia Portuguesa**. 2021. Disponível em: <https://bpstat.bportugal.pt/conteudos/noticias/1498/>.
- PORTUGAL, B. de. **Boletim Económico - Banco de Portugal**. 2023. Disponível em: <https://www.bportugal.pt/page/listagem-de-publicacoes-do-banco-de-portugal>.
- Portugal no Brasil, E. de. **Economia - Embaixada de Portugal no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://brasil.embaxadaportugal.mne.gov.pt/pt/sobre-portugal/economia>.
- PORTUGUESA, R. **Economia portuguesa - cresceu mais do que a da Europa - quando a Europa também crescia**. 2023. Disponível em: <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc23/comunicacao/noticia?i=economia-portuguesa-cre-sceu-mais-do-que-a-da-europa-quando-a-europa-tambem-crescia>.
- PORTUGUESA, R. **Plano de Recuperação e Resiliência**. 2023. Disponível em: <https://recuperarportugal.gov.pt/>.

PROGRAMME, U. E. *Energy profile equatorial guinea*. 2016.

PÚBLICA, A. **Retrato das injustiças no acesso à energia elétrica**. 2022. Disponível em: <https://outraspalavras.net/outrasmidias/retrato-das-injusticas-no-acesso-a-energia-eletrica>.

PÚBLICA, C. de I. **Os custos da corrupção para a economia moçambicana**. 2016. Disponível em: https://cipmoz.org/wp-content/uploads/2018/08/CIP-Custos_da_Corrupcao.pdf.

QI, J. **Como Timor-Leste utiliza o processo do Plano Nacional de Adaptação (PNA) para fortalecer sua Adaptação Baseada em Ecossistemas (AbE)**. 2021. Disponível em: <https://napglobalnetwork.org/wp-content/uploads/2022/01/napgn-pt-2022-timor-leste-using-nap-scale-up-eba.pdf>.

RELOP. **Associação dos Reguladores de Energia dos Países de Língua Oficial Portuguesa**. 2023. Disponível em: <https://relop.org/>.

RELOP, S. P. da. **Plano Estratégico 2022-2025**. 2022. Disponível em: <https://relop.org/wp-content/uploads/2022/06/Plano-Estrategico-2022-2025.pdf>.

RENOVÁVEIS, A. L. de E. **Energias Renováveis e Eficiência Energética em São Tomé and Príncipe**. 2020. 210 p. Disponível em: <https://www.aler-renovaveis.org/contents/files/aler-relatorio-stp-nov2020.pdf>.

RENOVÁVEIS, A. P. de E. **Energias Renováveis**. 2023. Disponível em: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/destaques>.

RIPPLE, W. J.; WOLF, C.; NEWSOME, T. M.; BARNARD, P.; MOOMAW, W. R. World Scientists' Warning of a Climate Emergency. *BioScience*, v. 70, n. 1, p. 8–12, 11 2019. ISSN 0006-3568. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/biosci/biz088>.

RITCHIE, H.; ROSER, M.; ROSADO, P. Energy. **Our World in Data**, 2022. <https://ourworldindata.org/energy>.

SÁ, G. **Energia e Alterações Climáticas: Contributos para o Desenvolvimento de uma Estratégia para Timor-Leste**. Tese (Doutorado) — Doctoral thesis in Energy Systems and Climate Change. Universidade de Aveiro . . . , 2018.

SANTOS, R. S. **A Crise econômica de 2008: Reflexos na Grécia, Portugal e Espanha**. 2012. 61 p. Disponível em: https://www.univali.br/Lists/TrabalhosGraduacao/Attachments/1062/ricardo_souza.pdf.

SILVA, F. F. B. *et al.* *Desvendando a lógica fuzzy*. Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

SILVEIRA, B. B. R. **Avaliação da transição energética na Comunidade dos Países de Língua Portuguesa: uma abordagem estatística considerando o uso de fontes renováveis e redução de emissão de gases poluente**. Juiz de Fora - JF: Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2022.

SIVANANDAM, S.; SUMATHI, S.; DEEPA, S. **Introduction to fuzzy logic using MATLAB**. [S.l.]: Springer, 2007.

SMITH, D. **Equatorial Guinea builds luxury resort for week-long summit.** 2011. Disponível em: <https://www.theguardian.com/world/2011/jun/07/equatorial-guinea-luxury-resort-sipopo>.

SOLOMON, B. D.; KRISHNA, K. The coming sustainable energy transition: History, strategies, and outlook. **Energy Policy**, Elsevier, v. 39, n. 11, p. 7422–7431, 2011.

SOUSA, J. d. J. *et al.* **A Comunidade dos Países de Língua Portuguesa e a concertação político-diplomática: a relação com o Brasil.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Faculdade de Ciências Sociais, Educação e Administração, Lisboa, 2014.

SOVACOOOL, B. K.; DWORKIN, M. H. Energy justice: Conceptual insights and practical applications. **Applied Energy**, v. 142, p. 435–444, 2015. ISSN 0306-2619. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915000082>.

SUÉCIA, M. de N. E. **Estratégia por país relativa a cooperação para o desenvolvimento de Timor Leste.** 2005. Disponível em: <https://www.regeringen.se/contentassets/39130b15bf4c4e7ca06ca1f773438e0c/estrategia-por-pais-relativa-a-cooperacao-para-o-des-envolvimento-de-timor-leste-2002-2005/>.

SUGANTHI, L.; INIYAN, S.; SAMUEL, A. A. Applications of fuzzy logic in renewable energy systems – a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 48, p. 585–607, 2015. ISSN 1364-0321. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211500307X>.

SUGENO, M. **Industrial applications of fuzzy control.** [S.l.]: Elsevier Science Inc., 1985.

TANSCHIEIT, R. Sistemas fuzzy. **Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro**, p. 338–353, 2004.

THIVES, L. P.; GHISI, E.; JÚNIOR, J. J. T. Regional inequalities in electricity access versus quality of life in Brazil. **Ambiente Construído**, SciELO Brasil, v. 22, p. 47–65, 2022.

TIMOR-LESTE, R. D. de. **Timor-Leste aposta nas energias renováveis.** 2010. Disponível em: <http://timor-leste.gov.tl/?p=3827&n=1>.

TIMOR-LESTE, R. D. de. Addressing climate risks and building climate resilience: Timor-leste’s national adaptation plan. **UNFCCC**, 2021. Secretariat of State for Environment, Coordinating Minister for Economic Affairs. Disponível em: <https://unfccc.int/>.

TIMOR-LESTE, R. D. de. **Publicação Oficial Timor-Leste.** 2022. Disponível em: https://www.mj.gov.tl/jornal/public/docs/2022/serie_1/SERIE_I_NO_24.pdf.

TURNBULL, G. Canals, coal and regional growth during the industrial revolution. **The Economic History Review**, Wiley Online Library, v. 40, n. 4, p. 537–560, 1987.

UNCTAD. **Unctad aponta melhora do desempenho econômico em Timor-Leste.** 2023. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/06/1816342>.

UNDP. United nations development programme country: Equatorial guinea. **Sustainable Energy for All**, 2016. SE4ALL.

UNDP. **Human Development Index (HDI)**. 2023. Disponível em: <https://hdr.undp.org/data-center/human-development-index/indicies/HDI>.

UNICEF. **Equatorial Guinea (EQG) - Demographics, Health e Infant Mortality**. 2021. Disponível em: <https://data.unicef.org/country/gnq/>.

UNILAB. **Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira**. 2023. Disponível em: <https://unilab.edu.br>.

VALÁ, S. C. Crise económica, instituições financeiras e oportunidades para a mudança: O caso da bvm, moçambique. **Instituto de Estudos Sociais e Económicos (IESE)**, 2022. Disponível em: https://www.iese.ac.mz/wp-content/uploads/2023/01/art4_sv.pdf.

Vanegas Cantarero, M. M. Of renewable energy, energy democracy, and sustainable development: A roadmap to accelerate the energy transition in developing countries. **Energy Research & Social Science**, v. 70, p. 101716, 2020. ISSN 2214-6296. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629620302917>.

VAZ, É. F.; FARRET, F. A. Correlações de pearson entre o consumo de energia elétrica e os índices de desenvolvimento humano e econômico. In: **Congresso Brasileiro de Automática-CBA**. [S.l.: s.n.], 2020. v. 2, n. 1.

VIANA, V. R. *et al.* Portugal, a geopolítica da energia e a segurança energética europeia. **Policy Paper**, JSTOR, v. 5, n. 10, 2014.

WELLE, D. **Angola atravessa desaceleração económica estrutural**. 2016. Disponível em: <https://www.dw.com/pt>.

APÊNDICE A – A LÓGICA *FUZZY* E MATEMÁTICA DIFUSA

A Lógica *Fuzzy* é uma extensão da lógica booleana clássica que permite lidar com a incerteza e a imprecisão de uma forma mais flexível e intuitiva. Esta metodologia, desenvolvida por **Lofti A. Zadeh**, na década de 1960, tem amplas aplicações, tais como em sistemas de controle, inteligência artificial, tomada de decisão e outras áreas onde a modelagem de incertezas é crucial (Silva *et al.*, 2011).

Este trabalho pretende elaborar um novo índice para a avaliação dos países pertencentes à CPLP, **no contexto da transição energética**, através de uma abordagem utilizando inferência *Fuzzy*, considerando aspectos sociais e eletroenergéticos. Portanto, a seguir, são apresentados os principais passos da metodologia utilizada, com destaque para seus elementos matemáticos, conforme (Silva *et al.*, 2011):

1. **Definição do Problema:** O problema é formalmente definido, identificando-se as variáveis envolvidas e suas interações. Cada variável é descrita em termos de seu universo de discurso X e as relações entre elas são estabelecidas. Matematicamente, o universo X pode ser definido conforme a Equação A.1.

$$X = \{x \mid x \in \mathbb{R}\} \quad (\text{A.1})$$

onde, \mathbb{R} é o conjunto dos números reais, representando todos os valores possíveis da variável, x é um elemento do conjunto e X , representando um valor específico da variável.

Essa definição matemática estabelece que o universo X é contínuo e abrange todos os valores reais que a variável pode assumir.

2. **Identificação das Variáveis e Conjuntos *Fuzzy*:** As variáveis do sistema são identificadas e suas faixas de valores são particionadas em conjuntos *fuzzy*. Um conjunto *fuzzy* A em um universo de discurso X é caracterizado por uma função de pertinência $\mu_A(x)$, a qual mapeia os elementos de X para o intervalo $[0,1]$, conforme a Equação A.2.

$$\mu_{A:X} \rightarrow [0,1] \quad (\text{A.2})$$

A função de pertinência associa a cada elemento x pertencente a X um número real no intervalo $[0,1]$, que representa o grau de pertinência do elemento x ao conjunto A , isto é, o quanto é possível para o elemento x pertencer ao conjunto A .

Portanto, a função de pertinência $\mu_A(x)$ indica o grau de compatibilidade entre x e o conceito expresso por A , de acordo com a Equação A.3.

$$\begin{cases} \mu_A(x) = 1 & \text{indica que } x \text{ é completamente compatível com } A; \\ \mu_A(x) = 0 & \text{indica que } x \text{ é completamente incompatível com } A; \\ 0 < \mu_A(x) < 1 & \text{indica que } x \text{ é parcialmente compatível com } A, \text{ com grau } \mu_A(x) \end{cases} \quad (\text{A.3})$$

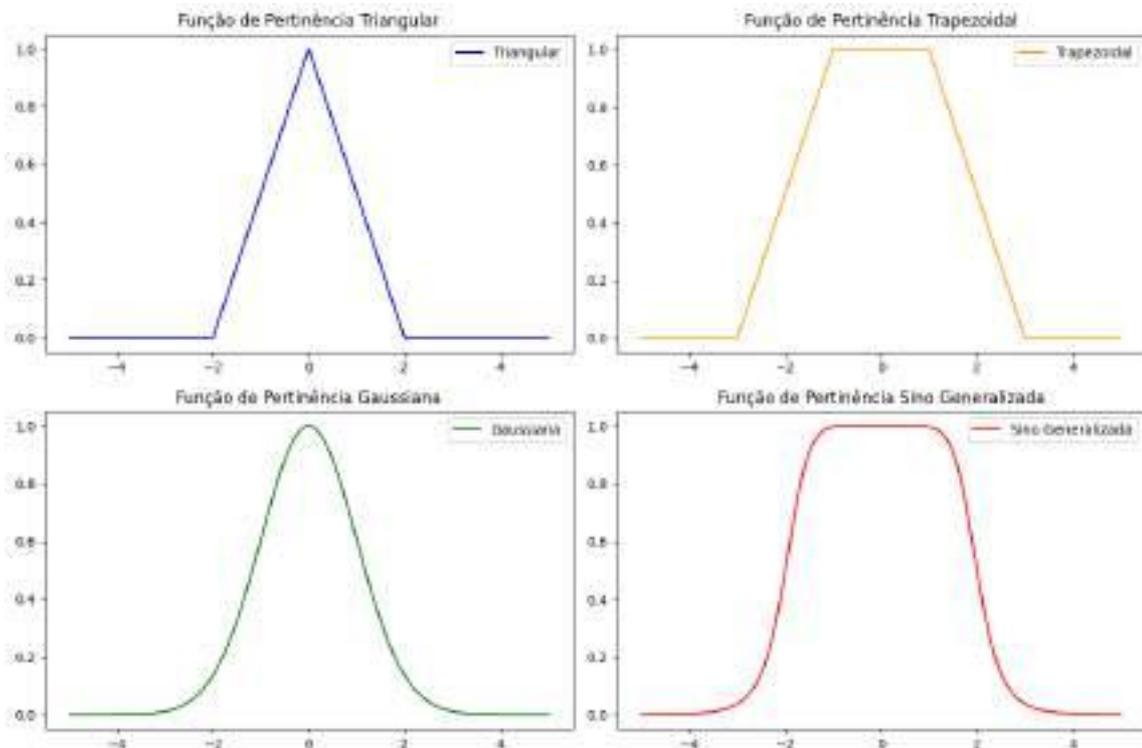
Sendo a **definição formal** de um conjunto *fuzzy* A em X expresso como um conjunto de pares ordenados, conforme a Equação A.4.

$$A = \{(x, u_A(x)) \mid x \in X\} \quad (\text{A.4})$$

onde, A é o conjunto *fuzzy*, $\mu_A(x)$ a função de pertinência e X o universo. Um conjunto *fuzzy* é totalmente caracterizado por sua **função de pertinência** e reflete o conhecimento que se tem em relação a intensidade com que o objeto pertence ao conjunto *fuzzy*.

A função de pertinência $\mu_A(x)$ pode ser dada de diferentes formas como, por exemplo, por uma função triangular, trapezoidal, Gaussiana ou Sino Generalizada, conforme mostrado na Figura 75.

Figura 75 – Exemplo de diferentes funções de pertinência.



Fonte: Autora.

Além de variáveis numéricas, nos sistemas *fuzzy*, também é possível se ter variáveis linguísticas. Uma variável linguística possui valores que não são números, mas sim,

palavras ou frases na linguagem natural. Além disso, todos os valores linguísticos formam um conjunto de termos.

É possível realizar operações sobre os conjuntos *fuzzy*. As operações básicas incluem a união (\cup), a interseção (\cap) e a complementação (\neg). Essas operações são definidas elemento a elemento, conforme a lógica *fuzzy*, de acordo com as Equações A.5-A.7, representadas na Figura 76.

- A interseção de dois conjuntos *fuzzy* A e B é dada pela função mínimo:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (\text{A.5})$$

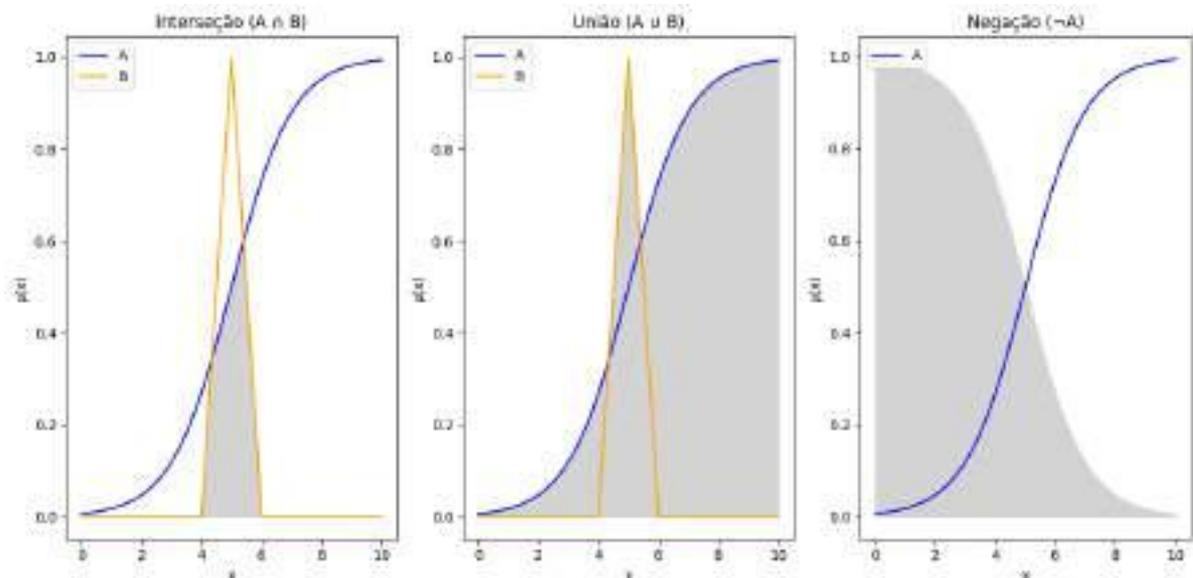
- A união de A e B é dada pela função máximo:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (\text{A.6})$$

- A complementação de um conjunto *fuzzy* A é dada por:

$$\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (\text{A.7})$$

Figura 76 – Exemplo de operações entre conjuntos *fuzzy*.



Fonte: Autora.

Adotando, a função de pertinência triangular, conforme introduzido na Figura 75, pode-se representar duas variáveis x_1 e x_2 , conforme as Equações A.8a-A.8b.

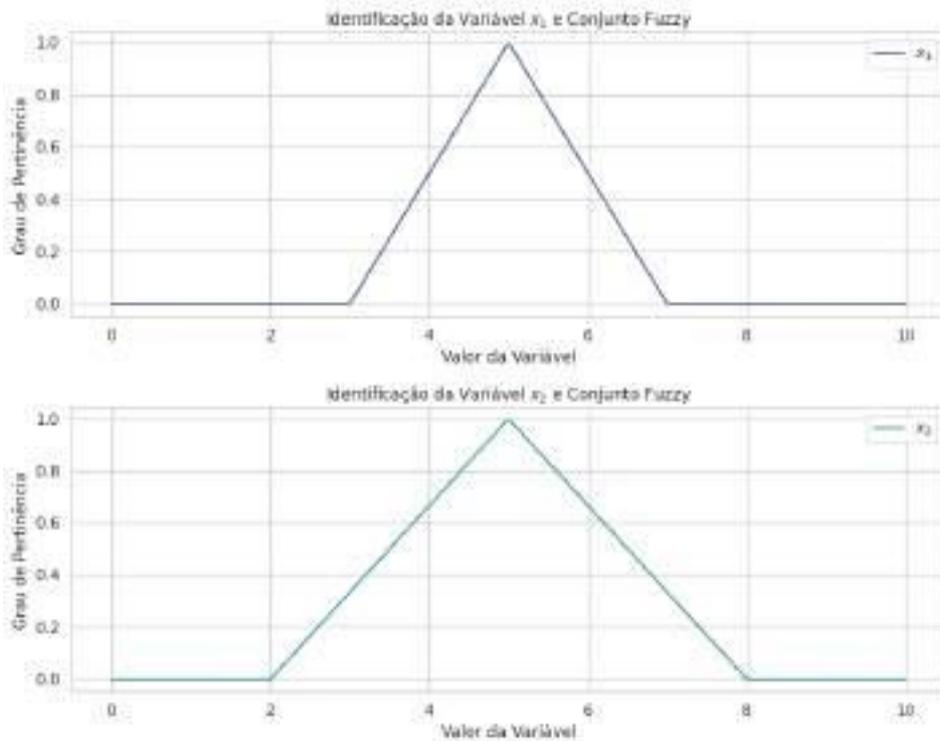
$$\mu_A(x_1) = \begin{cases} \frac{x_1-a}{b-a} & \text{se } a \leq x_1 \leq b \\ \frac{c-x_1}{c-b} & \text{se } b < x_1 \leq c \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (\text{A.8a})$$

$$\mu_A(x_2) = \begin{cases} \frac{x_2-a}{b-a} & \text{se } a \leq x_2 \leq b \\ \frac{c-x_2}{c-b} & \text{se } b < x_2 \leq c \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (\text{A.8b})$$

onde, a , b e c são parâmetros que definem os limites do conjunto *fuzzy*.

A Figura 78 esboça a identificação das variáveis descritas anteriormente (x_1 e x_2), considerando uma função de pertinência triangular.

Figura 77 – Exemplo de identificação das variáveis x_1 e x_2 .



Fonte: Autora.

3. **Fuzzificação:** Etapa na qual as variáveis linguísticas e as funções de pertinência são definidas de forma subjetiva. Os valores das variáveis do sistema são convertidos em conjuntos *fuzzy* correspondentes por meio da aplicação das funções de pertinência associadas a cada conjunto. Dessa forma, cada valor é representado por um conjunto *fuzzy* com um grau de pertinência específico.

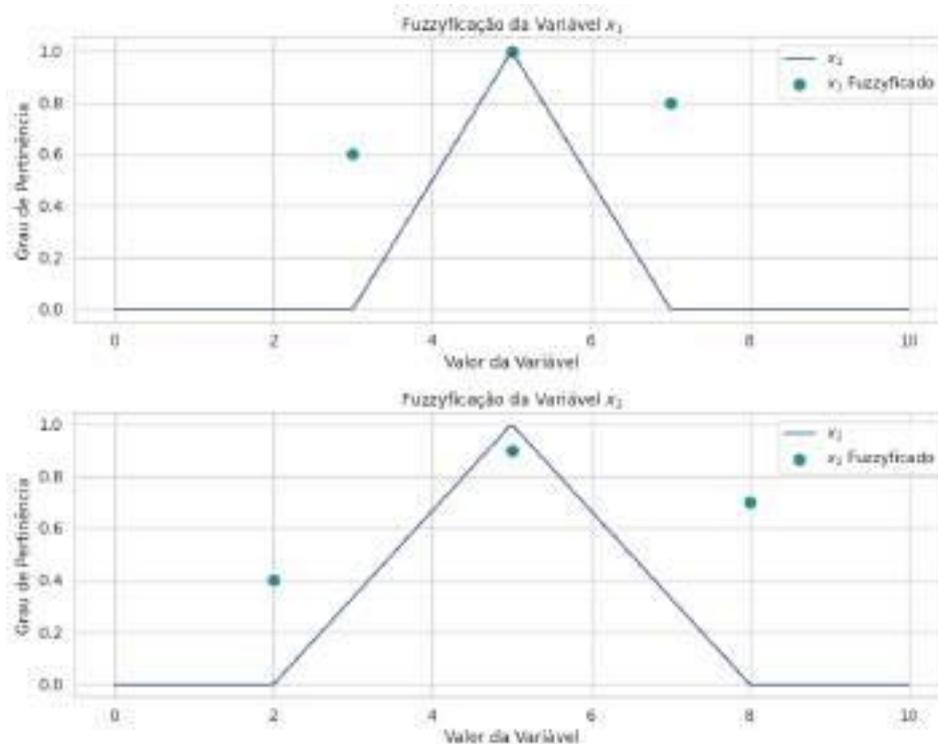
A *fuzzificação* é o processo de mapear valores precisos de entrada em conjuntos *fuzzy*. No caso de duas variáveis x_1 e x_2 , a *fuzzificação* envolve atribuir a cada valor das

variáveis, um grau de pertinência a conjuntos *fuzzy* específicos, tais como A_1 e A_2 , os quais representam diferentes níveis de pertinência para x_1 e x_2 , respectivamente. Para realizar a *fuzzificação*, segue-se os passos:

- **Particionamento do Universo de Discurso:** O universo de discurso para cada variável x_1 e x_2 é dividido em intervalos, e cada intervalo é associado a um conjunto *fuzzy* específico.
- **Cálculo dos Graus de Pertinência:** Para cada valor de x_1 e x_2 , calculamos o grau de pertinência a cada conjunto *fuzzy* A_1 e A_2 , respectivamente. Isso é feito usando funções de pertinência associadas a cada conjunto *fuzzy*.
- **Atribuição dos Graus de Pertinência:** Cada valor de x_1 e x_2 é então associado aos graus de pertinência calculados para os conjuntos *fuzzy* A_1 e A_2 , respectivamente. Esses graus de pertinência indicam o quão fortemente cada valor de entrada pertence a cada conjunto *fuzzy*.

A Figura 78 apresenta o processo de *fuzzificação* para as variáveis x_1 e x_2 , considerando uma função de pertinência triangular.

Figura 78 – Exemplo do processo de *fuzzificação*.



Fonte: Autora.

Por fim, após a *fuzzificação*, os valores de entrada são representados como conjuntos *fuzzy*, o que nos permite aplicar lógica *fuzzy* para realizar operações de inferência

e tomada de decisão nos sistemas. Este processo é fundamental para lidar com a incerteza e a imprecisão em problemas complexos, nos quais as variáveis de entrada não podem ser precisamente quantificadas.

4. **Definição das Regras *Fuzzy*:** São estabelecidas regras que descrevem o comportamento do sistema em termos das variáveis *fuzzy*. Cada regra é expressa na forma de uma implicação *fuzzy*, que relaciona as variáveis de entrada aos conjuntos *fuzzy* de saída. De modo geral, para realizar a definição de regras *fuzzy*, deve-se seguir os passos:

- **Identificação dos Conjuntos *Fuzzy* de Entrada e Saída:** Primeiramente, é necessário identificar os conjuntos *fuzzy* associados a cada variável de entrada x_1 e x_2 , bem como os conjuntos *fuzzy* associados à variável de saída.
- **Estabelecimento das Regras *Fuzzy*:** Em seguida, são estabelecidas as regras *fuzzy* que descrevem o comportamento do sistema. Cada regra é uma declaração condicional que relaciona os conjuntos *fuzzy* das variáveis de entrada aos conjuntos *fuzzy* da variável de saída. Por exemplo, uma regra, em geral, tem a seguinte forma, conforme mostrado na Equação A.9.

$$\text{Se } x_1 \text{ é } A_1 \text{ e } x_2 \text{ é } A_2 \text{ então } y \text{ é } B \quad (\text{A.9})$$

onde, A_1 , A_2 e B são conjuntos *fuzzy* associados a x_1 , x_2 e y , respectivamente.

- **Representação das Regras *Fuzzy*:** As regras *fuzzy* são geralmente representadas em forma de tabela ou matriz, na qual cada linha corresponde a uma regra e cada coluna corresponde a um conjunto *fuzzy* de uma variável. Por exemplo, suponha um sistema com duas variáveis de entrada, x_1 e x_2 , e uma variável de saída y . Cada variável tem três conjuntos *fuzzy* associados, denotados por A_1, A_2, A_3 para x_1 , e B_1, B_2, B_3 para x_2 , e C_1, C_2, C_3 para y . A matriz de regras *fuzzy* associada a este sistema pode ser formulada conforme mostrado na Tabela 31.

Nesta matriz, cada linha corresponde a uma regra *fuzzy*, e cada coluna representa um conjunto *fuzzy* associado a uma variável (ou a própria variável em si). Cada célula da matriz contém o conjunto *fuzzy* da variável de saída que é ativado pela combinação dos conjuntos *fuzzy* das variáveis de entrada, de acordo com a regra associada. Por exemplo, a regra R_{12} indica que se x_1 é A_1 e x_2 é B_1 , então y é C_2 .

- **Análise e Ajuste das Regras:** Após a definição inicial das regras *fuzzy*, é importante realizar uma análise cuidadosa e, se necessário, ajustar as regras para garantir que capturem adequadamente o comportamento do sistema.

Tabela 31 – Representação das Regras *Fuzzy*.

$x_1(A)$	$x_2(B)$	$y(C)$	Regra
A ₁	B ₁	C ₁	R ₁₁
A ₁	B ₂	C ₂	R ₁₂
A ₁	B ₃	C ₃	R ₁₃
A ₂	B ₁	C ₂	R ₂₁
A ₂	B ₂	C ₃	R ₂₂
A ₂	B ₃	C ₁	R ₂₃
A ₃	B ₁	C ₃	R ₃₁
A ₃	B ₁	C ₃	R ₃₁
A ₃	B ₃	C ₂	R ₃₃

Fonte: Autora.

Uma vez que as regras *fuzzy* são definidas, elas podem ser utilizadas em conjunto com as operações de inferência *fuzzy* para determinar a saída do sistema com base nas entradas fornecidas. Este processo é fundamental para a tomada de decisões em sistemas *fuzzy* e permite lidar com a incerteza e a imprecisão de forma eficaz em uma variedade de aplicações.

5. **Inferência Fuzzy:** A inferência *fuzzy* combina as regras estabelecidas para determinar a saída do sistema, ou seja, geralmente realizado por meio de operações *fuzzy*, como a composição e a agregação, que permitem calcular as saídas *fuzzy* resultantes das regras:

- **Agregação:** Calcula a importância de uma determinada regra para a situação corrente.
- **Composição:** Calcula a influência de cada regra nas variáveis de saída.

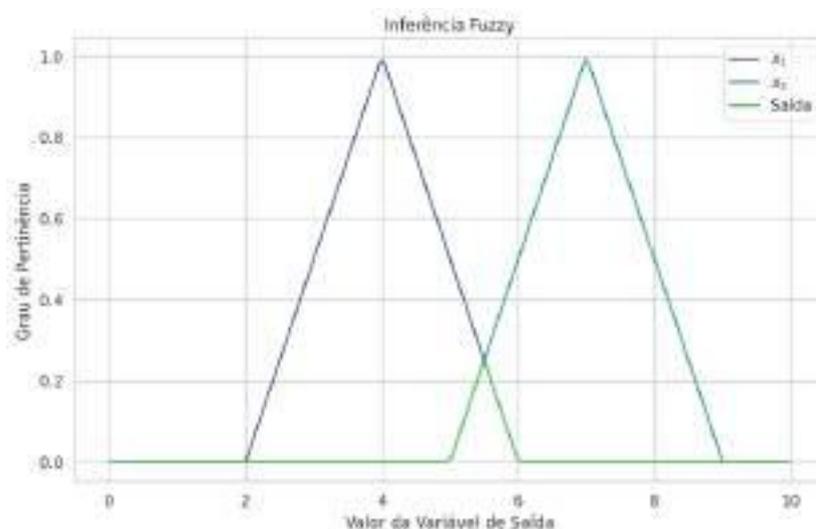
O processo de inferência *fuzzy* pode ser desdobrado em dois passos principais:

- **Ativação das Regras:** Nesta etapa, as regras *fuzzy* são ativadas com base nas entradas fornecidas ao sistema. Para cada conjunto *fuzzy* de cada variável de entrada, é calculado o grau de ativação de cada regra *fuzzy*, que indica o quanto a regra é relevante para a situação atual. Geralmente, o grau de ativação de uma regra é determinado pelo mínimo dos graus de pertinência das variáveis de entrada aos conjuntos *fuzzy* especificados na regra. Por exemplo, se x_1 é A₁ e x_2 é A₂ então y é B, o grau de ativação dessa regra seria o mínimo entre o grau de pertinência de x_1 a A₁ e o grau de pertinência de x_2 a A₂.
- **Combinação das Saídas Ativadas:** Uma vez que as regras são ativadas e seus graus de ativação são determinados, as saídas ativadas são combinadas para formar a saída final do sistema. Em geral, é feito por meio de uma operação de agregação, como a média ponderada dos conjuntos *fuzzy* das variáveis de saída

ativadas, na qual o peso de cada conjunto *fuzzy* é determinado pelo seu grau de ativação.

A Figura 78 representa graficamente um processo de inferência *fuzzy*.

Figura 79 – Exemplo de inferência *fuzzy*.



Fonte: Autora.

Após a etapa de inferência *fuzzy*, a saída final do sistema é obtida em forma de conjunto *fuzzy*, o que permite uma representação mais flexível e robusta das decisões tomadas pelo sistema. Essa saída *fuzzy* pode então ser convertida em um valor numérico preciso por meio da etapa de *defuzzificação*, permitindo que a decisão seja implementada.

6. **Defuzzificação:** Os resultados *fuzzy* são convertidos novamente em valores numéricos precisos através da *defuzzificação*. Diferentes métodos podem ser empregados, como a média ponderada ou o centro de gravidade, dependendo do contexto do problema. A seguir, tem-se os principais passos desta etapa:

- **Entrada *Fuzzy*:** Após a etapa de inferência *fuzzy*, o sistema produz uma saída *fuzzy* que é representada por um conjunto *fuzzy*, no qual diferentes valores têm diferentes graus de pertinência ao conjunto.
- **Seleção dos Centros de Gravidade:** Uma abordagem comum para a *defuzzificação* é o método do *centro de gravidade*, que calcula o valor numérico da saída como o centro de gravidade do conjunto *fuzzy* resultante. Este cálculo é feito através da média ponderada dos valores de entrada *fuzzy*, no qual o peso de cada valor é determinado pelo seu grau de pertinência ao conjunto *fuzzy*. Matematicamente, o centro de gravidade (*COG*) é dado pela Equação A.10.

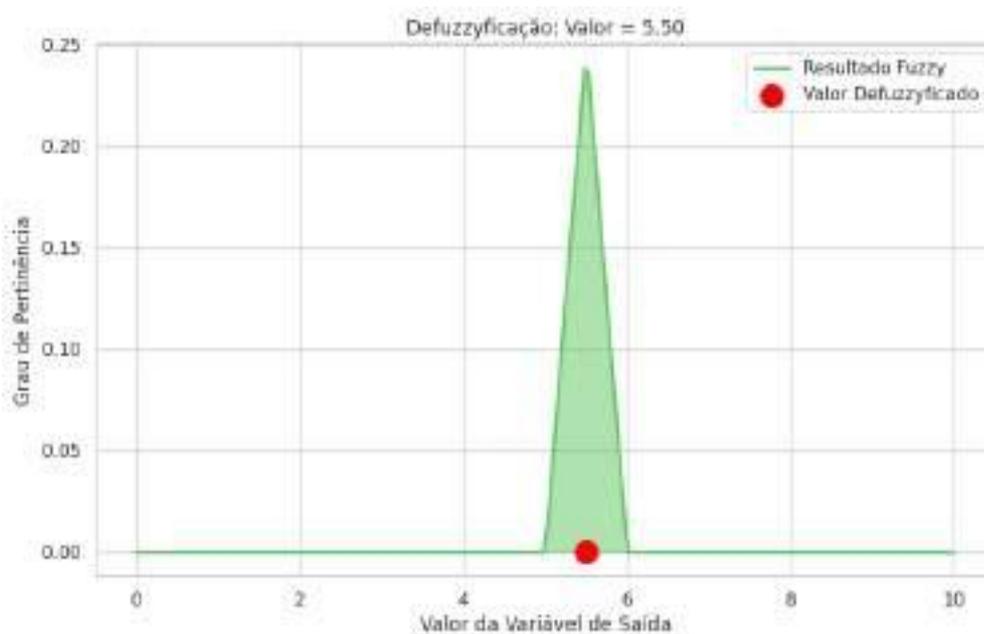
$$COG = \frac{\int x \cdot \mu_Y(x) dx}{\int \mu_Y(x) dx} \quad (A.10)$$

onde, $\mu_Y(x)$ é a função de pertinência do conjunto *fuzzy* resultante.

- **Valor Numérico da Saída:** O valor calculado pelo centro de gravidade representa o valor numérico final da saída do sistema.
- **Outros Métodos de *Defuzzyficação*:** Além do método do centro de gravidade, existem outros métodos, como o método da média ponderada, o método do primeiro máximo e o método do último máximo. Cada método tem suas próprias características e é escolhido com base nas necessidades específicas do problema.

Esta etapa é crucial para transformar as saídas *fuzzy* em ações concretas, permitindo que sistemas baseados em lógica *fuzzy* sejam aplicados em uma variedade de domínios, incluindo controle de processos, tomada de decisões e sistemas de suporte à decisão. A Figura 80 exemplifica esta etapa de forma gráfica.

Figura 80 – Exemplo de *defuzzyficação*.



Fonte: Autora.

Portanto, a Lógica *Fuzzy* proporciona uma abordagem poderosa e versátil para lidar com a incerteza e a imprecisão em sistemas complexos, permitindo uma modelagem mais realista e eficaz de uma variedade de problemas matemáticos e de engenharia.

APÊNDICE B – O ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO (IDH)

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), ou do inglês, *United Nations Development Programme* (UNDP), o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é uma medida resumida do progresso a longo prazo em três dimensões básicas do desenvolvimento humano: renda, educação e saúde (Undp, 2023), sendo:

1. Renda

- **Produto Interno Bruto per capita** (PIB_{pc}): indicador que representa o PIB per capita, é crucial para medir o padrão de vida de uma população, refletindo sua capacidade de gerar renda e proporcionar oportunidades econômicas, bem como ter uma vida digna.

2. Educação

- **Anos Médios de Estudo** (AME): indicador representa o número médio de anos de escolaridade recebida pela população adulta (25 anos ou mais). Os dados são obtidos a partir de pesquisas de domicílio, censos e levantamentos educacionais.
- **Anos Esperados de Escolaridade** (AEE): indicador representa o número médio de anos que um indivíduo pode esperar passar na escola, desde o início da escolaridade até a idade adulta, refletindo a qualidade e o acesso à educação em um país.

3. Saúde

- **Expectativa de vida ao nascer** (EV): indicador que mede a esperança de vida média ao nascer. Quanto maior a expectativa de vida, melhor a classificação do país. Os dados são geralmente obtidos de fontes confiáveis, como agências nacionais de estatísticas e organizações internacionais, como a Organização Mundial da Saúde (OMS).

Desta forma, os critérios para o cálculo do IDH são dados de acordo com as Equações B.1-B.3, respectivamente, de acordo com a referência (Pnud, 2023):

$$1. \text{ Expectativa de vida ao nascer (EV)} = \frac{EV - 20}{83,2 - 20} \quad (\text{B.1})$$

onde,

EV: Expectativa de vida ao nascer.

$$2. \text{ Índice de Educação (EI)} = \frac{\sqrt{IAME \times IAAE} - 0}{0,951 - 0} \quad (\text{B.2a})$$

$$2.1 \text{ Índice de AME (IAME)} = \frac{AME - 0}{13,2 - 0} \quad (\text{B.2b})$$

$$2.2 \text{ Índice de AEE (IAEE)} = \frac{AEE - 0}{20,6 - 0} \quad (\text{B.2c})$$

onde,

AME: Anos Médios de Estudo;

AEE: Anos Esperados de Escolaridade.

$$3. \text{ Índice de Renda (IR)} = \frac{\ln PIB_{pc} - \ln 163}{\ln 108,211 - \ln 163} \quad (\text{B.3})$$

onde,

PIB_{pc} : Produto Interno Bruto per capita.

Finalmente, o cálculo do IDH é dado de acordo com a Equação B.4.

$$IDH = \sqrt[3]{EV \times EI \times IR} \quad (\text{B.4})$$

Os valores para cada indicador são normalizados para variar de 0 a 1, onde 0 representa o pior desempenho possível e 1 o melhor, permitindo a comparação entre países. Após o cálculo do IDH, os países são classificados em diferentes categorias de desenvolvimento humano, conforme discretizado na Tabela 32.

Tabela 32 – Classificação do IDH.

Categoria	Faixa	Descrição
Muito Alto	$0,800 < IDH < 1,000$	Países nesta categoria geralmente possuem um padrão de vida elevado, alto nível de desenvolvimento humano e acesso amplo a serviços de saúde e educação de qualidade.
Alto	$0,700 < IDH < 0,799$	Países nesta categoria também desfrutam de um bom padrão de vida, com acesso a serviços de saúde e educação, embora possam apresentar algumas disparidades sociais e econômica.
Médio	$0,550 < IDH < 0,699$	Países nesta categoria têm um nível intermediário de desenvolvimento humano, com acesso limitado a serviços de saúde e educação, podendo enfrentar desafios significativos no desenvolvimento social e econômico.

(continua na próxima página)

Tabela 32: Classificação do IDH (Continuação).

Categoria	Faixa	Descrição
Baixo	$0,550 < IDH$	Países nesta categoria enfrentam sérias deficiências em termos de desenvolvimento humano, com acesso precário a serviços de saúde e educação, altas taxas de pobreza e vulnerabilidade a crises econômicas e sociais.

Fonte: Autora, de acordo com (Pnud, 2023).

O principal objetivo da criação do IDH foi o de oferecer um contraponto a outro indicador muito utilizado no mundo, o Produto Interno Bruto (PIB) per capita, que considera apenas a dimensão econômica do desenvolvimento. Criado por **Mahbub ul Haq** com a colaboração do economista indiano **Amartya Sen**, ganhador do Prêmio Nobel de Economia de 1998, o IDH pretende ser uma medida geral e sintética que, apesar de ampliar a perspectiva sobre o desenvolvimento humano, não abrange nem esgota todos os aspectos de desenvolvimento (Undp, 2023).

APÊNDICE C – DISTRIBUIÇÕES DE *RAYLEIGH* E *WEIBULL*

A distribuição de *Rayleigh* é uma distribuição de probabilidade contínua para valores positivos. Geralmente, essa distribuição é observada quando a magnitude global de um vetor está relacionada com os seus componentes de direção, ou seja, um vetor de componentes bidimensional. Assumindo que as componentes são independentes e normalmente distribuídas com média zero e variâncias iguais, então a velocidade geral do vento tem um a distribuição de *Rayleigh*, mostrada pela Equação C.1.

$$f(v) = \left(\frac{2v}{c^2}\right)e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^2} \quad (\text{C.1})$$

onde,

v : Velocidade do vento [m/s];

k : Fator de forma (adimensional);

c : Fator de escala [m/s].

A distribuição de *Weibull*, em probabilidade e estatística, é uma distribuição de probabilidade contínua. A função densidade de probabilidade é mostrada pela Equação C.2.

$$f(x) = \frac{\beta}{\delta} e^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta} \left(\frac{x}{\delta}\right)^{\beta-1}, \quad (\text{C.2})$$

para $x > 0$, com parâmetro de forma $\beta > 0$ e de escala $\delta > 0$.

A função distribuição cumulativa é dada pela Equação C.3.

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta} \quad (\text{C.3})$$

No estudo de caso realizado neste trabalho, utilizou-se a Equação C.4 para a distribuição *Weibull*, função utilizada para caracterizar as estatísticas da velocidade do vento.

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right)\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (\text{C.4})$$

onde,

v : Velocidade do vento [m/s];

k : Fator de forma (adimensional);

c : Fator de escala [m/s].