

VINÍCIUS OLIVEIRA DA SILVA

**Como inserir recursos energéticos
importados no planejamento energético
nacional? Modelo de determinação de
recursos energéticos para a integração
energética transnacional**

São Paulo

2022

VINÍCIUS OLIVEIRA DA SILVA

Como inserir recursos energéticos importados no planejamento energético nacional? Modelo de determinação de recursos energéticos para a integração energética transnacional

Versão Corrigida

Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Sistemas de Potência

Orientador: Prof. Dr. Miguel Edgar Morales Udaeta

São Paulo

2022

VINÍCIUS OLIVEIRA DA SILVA

Como inserir recursos energéticos importados no planejamento energético nacional? Modelo de determinação de recursos energéticos para a integração energética transnacional

Versão Corrigida

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Ciências.

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 13 de julho de 2022

Assinatura do autor: Vinicius Oliveira da Silva: 91

Assinatura do orientador: 

Catálogo-na-publicação

Silva, Vinicius Oliveira da
Como inserir recursos energéticos importados no planejamento energético nacional? Modelo de determinação de recursos energéticos para a integração energética transnacional / V. O. Silva -- versão corr. -- São Paulo, 2022.
264 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Planejamento Energético 2.Sistemas de Potência 3.Desenvolvimento Sustentável 4.Relações Internacionais 5.Comércio Internacional
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

Nome: SILVA, Vinícius Oliveira da

Título: Como inserir recursos energéticos importados no planejamento energético nacional? Modelo de determinação de recursos energéticos para a integração energética transnacional

Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Aprovado em: 26 de maio de 2022

Banca Examinadora

Prof. Dr. Miguel Edgar Morales Udaeta

Instituição: EP - (EP)

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Jose Sidnei Colombo Martini

Instituição: EP - USP

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Flavio Marques Azevedo

Instituição: ESPM - Externo

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Luiz Fernando Tibaldi Kurahassi

Instituição: IFSP - Externo

Julgamento: Aprovado

Profa. Dra. Solange Mendes Geraldo Ragazi David

Instituição: Externo

Julgamento: Aprovado

Para Fernanda.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela bolsa concedida e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), por meio de acesso aos portais de periódicos. O papel de ambas as agências é primordial para o fomento e continuidade do desenvolvimento da ciência.

Ao Miguel, amigo, orientador e pesquisador nato, pelas longas conversas e debates que ampliaram meus horizontes sobre a vida. Muito obrigado por me receber na acadêmica e me orientar ao longo de quase uma década. Muitas ideias, trabalhos e artigos saíram das nossas mãos, e o mais importante dessa relação é a experiência e a ciência que ficaram marcadas em mim.

Ao André Gimenes, por sua disposição, sugestões e conversas que ajudaram a sedimentar esta pesquisa e desenvolver diversas ideias e soluções inovadoras em tantos projetos únicos. Muito obrigado por todas as conversas fora de hora e por manter as portas sempre abertas.

Ao Professor Dr. Luiz Claudio Ribeiro Galvão por todo apoio e dedicação à minha formação e por criar condições para que a pesquisa prosseguisse num ambiente sinuoso e incerto. Sempre admirei a tranquilidade das suas falas e a forma do trato pessoal, impecável. Muito obrigado por sentar comigo e demonstrar como deve ser elaborado um trabalho acadêmico com qualidade e, mais que isso, muito obrigado por me receber além do mundo acadêmico.

Ao Professor Dr. José Aquiles Baesso Grimoni, muito obrigado pelo apoio acadêmico e institucional. Muitas publicações saíram graças ao seu apoio. Sua disciplina PEA5900 - Tecnologia de Ensino de Engenharia foi uma grande inspiração didática e, na minha opinião, é fundamental para todo pós-graduando.

Aos Professores Dr. Eduardo Lorenzetti Pellini e Dr. Giovanni Manassero Junior, muito obrigado por toda a paciência e por me orientarem tantas vezes ao longo das idas e vindas institucionais. Vocês sempre me deram a segurança de que as portas não se fechariam.

Ao Professor Dr. Dorel Ramos Soares, por ser um exemplo de profissional e integridade. Muito obrigado pela confiança e estar sempre disponível.

Ao Professor Dr. Erik Eduardo Rego, por escutar, sugerir e entender as necessidades dos alunos, principalmente, no início de uma paternidade. Sua disciplina PRO5854 – Economia da Energia abriu novos horizontes, me ajudou a criar, em conjunto com a Stefania Relva, uma linha de pesquisa e artigos. Sou muito grato.

À Neide Albertini, por todo o apoio institucional, burocrático e interpessoal. Sem ele barreiras seriam intransponíveis. Todo o seu apoio sempre veio acompanhado de muito carinho e compreensão.

Aos professores e funcionários do PEA, por toda atenção e ajuda ao longo da pós-graduação.

À professora Dra. Solange Mendes Geraldo Ragazi David e aos professores Dr. José Sidnei Colombo Martini, Dr. Flavio Marques Azevedo e Dr. Luiz Fernando Tibaldi Kurahassi pelas discussões e sugestões realizadas durante a arguição da defesa, que contribuíram para aprofundar o tema. E, mais do que isso, muito obrigado pela forma e pelas palavras. Fiquei lisonjeado.

Aos pesquisadores do GEPEA que por muitos anos estiveram lado a lado especialmente aos que transcenderam para uma amizade de apoio e confiança, em especial à Angélica Linhares, à Jaqueline Camara e ao Martim Debs pelas preciosas lições e discussões, por serem grandes parceiros na pesquisa, nas viagens e mais que isso, por ajudarem o processo ser amigável. Mesmo em caminhos diferentes, mantenho todo o respeito e carinho por vocês. Espero que nossas vidas se cruzem muitas e muitas vezes.

Ao Amor, que nasceu em um momento íntimo ao lado de uma cachoeira e se transformou em algo marcado em nossas peles. Evoluímos juntos, com todas as expressões de sentimentos possíveis. Com vocês me sinto livre e posso expressar a minha natureza, pois para vocês isso é apenas um problema do tipo dois.

À Isabel, por abrir muitas portas e por acreditar em mim, como pessoa, em diversos momentos da vida. Você me ensinou habilidades necessárias, e, não triviais, para uma boa convivência profissional. Mais que isso, seu caráter me permitiu iniciar uma relação acadêmica de confiança e duradoura. Valeu Bel.

Ao Ata, por me trazer à luz o universo acadêmico, ser uma fonte de inspiração e de que é possível alterar os rumos e continuar seguindo em frente.

Ao Nicolas, por toda a parceria nos altos e baixos. A união fez à recuperação.

Ao Diego, pelas longas discussões empíricas e principalmente por compreender o que é incompreensível. Trilhar caminhos com você sempre me inspirou e me abriu os olhos. Você consegue enxergar as mais singelas nuances antes de qualquer um. Só quero seguir com nossas tardes de café.

Ao Thiago Lima, muito obrigado por me trazer de volta aos projetos. Apresentar-me um outro Brasil e pela oportunidade de construir algo colaborativo em um ambiente de confiança. Agradeço por me trazer à arte e *Colors*. Ainda quero ver a Filomedusa.

Ao Jonathas Bernal, pai do Bernardo, por toda a amizade e por compartilhar experiências e exemplos paternos. Eu poderia discorrer sobre muitas coisas boas das nossas experiências, mas vou me ater ao que mais importa. Você para mim é uma inspiração de relação paterna. Um confidente e fonte de sabedoria do que é ter uma relação pai e filho respeitosa. Enquanto as crias ficam com avós, babás, tias (porque é sempre com uma mulher) os nossos filhos estavam conosco. Eu te respeito.

À Drielli Peyerl, você me impressionou profundamente no dia em que nos conhecemos e olha que nem nos falamos. Com toda a distância que a vida nos atribuiu, conseguimos construir uma relação de Artigos, que em pouco tempo se transformou em uma relação de amizade e respeito. Muito obrigado por demonstrar que há o lado bom e com muito respeito na vida acadêmica. Te admiro no trato com seus orientandos e na forma como você constrói e preserva as amizades espalhadas pelo mundo.

À Stefania Gomes Relva, não sei como te agradecer. Só consigo sorrir e chorar de felicidade quando penso na nossa amizade. Muito obrigado por tudo. Tudo mesmo. Esta tese e os artigos (e quantos artigos) foram construídos por nossas mãos, com um apoio mútuo, suor e o mais importante, com muita confiança. Não importa os caminhos que trilharemos ao final de nossas teses, você sempre poderá contar com a minha amizade. Ste você é gigante e vai brilhar muito. Conte comigo.

À Paola e ao Miguel, que nunca pensaram mais de um segundo (acho que um segundo é tempo demais) antes de estenderem as mãos, braços, o que for para nos ajudar. Eu confesso que às vezes eu me pergunto o que foi que eu fiz para ter amigos tão incríveis quanto vocês. Vocês tornaram momentos difíceis mais fáceis, nos

permitiram chegar, respirar, pensar e seguir as nossas vidas num mundo novo. Vocês são os verdadeiros Maravilhosos que a sua versão mais pura é *Maravillosa*.

À Bene e às Silvas, por me trazerem o lado tranquilo da vida familiar. Sempre foram o meu refúgio e me deram espaço e segurança para poder respirar e voltar.

À Rita e às Oliveiras, por demonstrarem toda a força das relações pessoais e a intensidade do amor.

Ao Salustiano, que inspirou gerações de Oliveiras a buscarem conhecimento, não teríamos vindo tão longe sem seus exemplos.

Ao meu pai, Augusto que não pôde estar presente. As histórias sobre você me fizeram querer ser um bom amigo e sua vida me fez entender a importância da paternidade presente.

Ao Lucca, embora tenhamos nos separado muito cedo, e eu esteja cada vez mais longe, eu sempre carrego comigo o amor e o carinho que eu tenho por você.

Ao Rodolfo Celestino, pai da Lia, Amora e Akira, muito obrigado por fazer parte da minha vida. Você sabe coisas de mim que eu nunca soube. Sou seu fã e estarei ao seu lado enquanto o tempo permitir.

Aos meus pais, Davenil e Angela, eu tenho dificuldade de expressar o meu amor por vocês. Esse amor incondicional que eu só pude compreender após me tornar pai. Muito obrigado por estarem presentes a todo momento.

Ao Caetano, presente na completude da elaboração dessas páginas. Me ensinou em quatro anos coisas que demorei uma vida para compreender e aceitar. Se eu sigo é para te ver grande e decente. "*Yo en la bicicleta pequeña y você na grande*".

À Fernanda Neri de Souza, Linda Lindona, você me estendeu a mão e jamais largou, acreditou e me apoiou em toda essa jornada, mesmo quando eu parei de acreditar. Tua presença me traz paz e me inspira a continuar. Você é o amor da minha vida.

Ninguém conquista nada sozinho. Não existe *self-made* e nem meritocracia.

RESUMO

SILVA, V. O. **Como inserir recursos energéticos importados no planejamento energético nacional? Modelo de determinação de recursos energéticos para a integração energética transnacional.** Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2022.

Como inserir recursos energéticos importados no planejamento energético? Esta pergunta fundamenta o objetivo desta tese - desenvolver um modelo de avaliação de recursos energéticos (RE) disponíveis na geografia e no tempo, que permita satisfazer a demanda interna planejada de um país e apresentar excedentes, possibilitando a exportação de longo prazo, de modo a ser internalizado no planejamento energético (PE) de um país importador. Com este objetivo, o modelo desenvolvido é aplicado dentro do contexto da integração energética transnacional dos países da América do Sul (IET-AS), considerando os seus potenciais energéticos, características socioambientais e políticas energéticas endêmicas, a fim de determinar os RE disponíveis para a IET de longo prazo na região. A metodologia empregada está calcada na revisão bibliográfica do estado atual da IET-AS e na revisão bibliométrica e sistemática dos modelos e ferramentas de PE existentes. A partir dessas revisões, elementos-bases e gargalos existentes são iluminados e um modelo de avaliação de REs importados é construído. Os resultados das revisões demonstram a existência de infraestrutura de integração transnacional que compreende usinas hidrelétricas binacionais, linhas de transmissão e gasodutos transnacionais. Por outro lado, a IET-AS ainda precisa de uma evolução institucional para soluções rápidas à arbitragem internacional e uma previsibilidade de longo prazo quanto ao acesso e ao fornecimento dos REs. Quanto ao modelo desenvolvido e a avaliação de treze REs, verifica-se que a construção e valoração dos atributos e subatributos não é trivial, pois: há necessidade de ampla base de dados – não consolidada para a região –; utilização de dados de entrada de alguns atributos a partir da saída de outros atributos, ou seja, há à necessidade de valoração de todos os atributos e subatributos devido à intersecção entre as diferentes dimensões. Porém, após a valoração de todas as dimensões, os REs podem ser traduzidos em índices ranqueados, variando de 0 a 1, permitindo a comparação entre eles e a identificação do RE que melhor responde às demandas do desenvolvimento sustentável. Portanto, conclui-se que o modelo desenvolvido permite avaliar os REs em todas as dimensões que o desenvolvimento

sustentável demanda, podendo ser aplicado não apenas à IET, mas também para um PE exclusivamente nacional, subnacional e de mercado.

Palavras-chave: Planejamento Energético (PE); Planejamento Integrado de Recursos Energéticos (PIR); Integração Energética Transnacional (IET); América do Sul (AS); América Latina.

ABSTRACT

SILVA, V. O. **How to insert imported energy resources in national energy planning? Model for determining energy resources for transnational energy integration.** Thesis (Doctorate). Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2022.

How to insert imported energy resources in energy planning? This question underpins the objective of this thesis - to develop a model for evaluating the energy resources (ER) available in the geography and time, which allows satisfying the planned internal demand of a country and presenting surpluses, enabling long-term exports, to be internalized in the energy planning from an importing country. With this objective in mind, the model developed within the context of the transnational energy integration of South American (TEI-SA) countries will be applied, considering their energy potentials, socio-environmental characteristics, and endemic energy policies, to determine the energy resources available for the transnational energy integration of long term in the region. The methodology used is based on the bibliographic review of the current state of the TEI-SA and on the bibliometric and systematic review of existing energy planning models and tools. From these revisions, the base elements and the existing bottlenecks are illuminated, and an evaluation model of the imported REs is built. The results of the reviews demonstrate the existence of a transnational integration infrastructure that comprises binational hydroelectric power plants, transmission lines and transnational gas pipelines. On the other hand, the TEI-SA still needs an institutional evolution for quick solutions to international arbitration and a long-term predictability regarding the access and offer of ERs. As for the model developed and the evaluation of thirteen ERs, it appears that the construction and calculation of attributes and sub-attributes is not trivial, since: there is a need for a broad database – not consolidated for the region –; use of input data of some attributes from the output of other attributes, namely, there is a need to calculate all attributes and sub-attributes due to the intersection between the different dimensions. However, after all dimensions have been calculated, the ERs can be translated into ranked indices, which range from 0 to 1, allowing the comparison between them and the identification of the ER that best responds to the demands of sustainable development. Therefore, it is concluded that the model developed allows the evaluation of ERs in all

dimensions that sustainable development demands, and can be applied not only to the TEI, but also to exclusively national, subnational and market Energy Planning.

Keywords: Energy Planning (EP), Integrated Energy Resources Planning (IRP), Transnational Energy Integration (TEI); South America (SA); Latin America.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Potencial hidroelétrico da América do Sul.....	25
Figura 2. Distribuição das reservas provadas na AS em 2017 de (a) gás natural e (b) petróleo.	26
Figura 3. Evolução do (a) PIB em dólar constante de 2011 por poder de paridade de compra e (b) do consumo de eletricidade per capita e de acesso à eletricidade na região da AS.....	28
Figura 4. Estrutura da tese.....	33
Figura 5. Eixos de Integração e Desenvolvimento.	43
Figura 6. Arranjo esquemático da metodologia de revisão.	55
Figura 7. Arranjo esquemático da revisão bibliométrica.	61
Figura 8. Evolução do número de registros publicados anualmente	70
Figura 9. Mapas dos nós e redes de colaboração por (a) países e (b) instituições...	75
Figura 10. Mapa da rede de nós de palavras-chave e seus principais termos e vínculos.	81
Figura 11. Mapa dos 11 <i>clusters</i> de palavras-chave.	83
Figura 12. <i>Timeline</i> da rede e nós de palavras-chave de alta frequência LLR.....	86
Figura 13. Arranjo esquemático da metodologia modular.	96
Figura 14. Arranjo esquemático do modulo de levantamento e estruturação das informações prévias.	97
Figura 15. Referências de dados e informações do inventário energoambiental. ...	100
Figura 16. Representação da categorização dos REs.	104
Figura 17. Modelo de árvore de decisão contendo atributos e subatributos.	107
Figura 18. Árvore de atributos e subatributos da DAMB.	109
Figura 19. Árvore de atributos e subatributos da DPOL.....	115
Figura 20. Árvore de atributos e subatributos da DSOC.	121
Figura 21. Árvore de atributos e subatributos da DTEC.....	127
Figura 22. Representação do SIN Brasileiro e dos países da fronteira norte.....	143
Figura 23. Períodos das etapas de licenciamento ambiental de projetos energéticos no Brasil.	168
Figura 24. Projeção da América do Sul.....	229
Figura 25. Macroformas do relevo da AS.....	230

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Carteira de projetos do COSIPLAN.	46
Tabela 2. Tipos de projetos do setor energético.	46
Tabela 3. Característica do tipo de financiamento.	47
Tabela 4. Lógica de pesquisa de registros na plataforma WOS.....	68
Tabela 5. Consolidação de tipo de idiomas e documentos dos registros.....	69
Tabela 6. Área de pesquisa dos 124 registros.	72
Tabela 7. Lista dos periódicos coma mais de um registro.....	73
Tabela 8. Consolidação dos registros por região.	74
Tabela 9. Lista dos 14 países com maior número de registros.	75
Tabela 10. Lista das 14 instituições com maior número de registros.	77
Tabela 11. Lista das 13 agências de financiamento com maior participação nos registros.....	79
Tabela 12. Lista dos 18 autores presentes em mais de um registro.	80
Tabela 13. Lista dos 11 <i>clusters</i> identificados na rede de palavras-chave.....	83
Tabela 14. Lista das 10 palavras-chave com maior Sigma.	85
Tabela 15. Palavras-chave com os <i>bursts</i> de citação mais fortes.....	88
Tabela 16. Consolidação das etapas de triagem da metodologia de RS.	89
Tabela 17. Premissas gerais.	135
Tabela 18. Lista de RELOs e faixas de potência no contexto do Estudo de Caso..	137
Tabela 19. Consolidação dos dados da fonte energética - GN.	139
Tabela 20. Consolidação dos dados da fonte energética - Hídrica.	141
Tabela 21. Consolidação dos REs avaliados no Estudo de Caso.....	144
Tabela 22. Consolidação dos organismos supranacionais IET.....	147
Tabela 23. Consolidação dos organismos nacionais na IET.	148
Tabela 24. Lista de RELOs e faixas de potência no contexto do Estudo de Caso..	150
Tabela 25. Consolidação do atributo Facilidade Técnica.	152
Tabela 26. Consolidação do atributo Confiabilidade.	153
Tabela 27. Consolidação do atributo Domínio Tecnológico.	154
Tabela 28. Consolidação das premissas e resultados do Custo do CCS.	155
Tabela 29. Consolidação das premissas e resultados da Ocupação do Solo.....	161
Tabela 30. Consolidação de resultados do subatributo Posse.....	162
Tabela 31. Consolidação de resultados do subatributo Propriedade.	163
Tabela 32. Consolidação de resultados da Integração Energética.	164
Tabela 33. Consolidação de resultados dos leilões de energia – Instrumentos Políticos.....	166
Tabela 34. Consolidação dos agentes envolvidos nos Aspecto Legais por tipo de Fonte Energética.	167
Tabela 35. Consolidação dos resultados do atributo Envolvidos e Interessados. ...	168
Tabela 36. Consolidação dos resultados do atributo Alteração de Conforto.....	172
Tabela 37. Ranqueamento dos REs avaliados.	178
Tabela 38. Característica específicas das UTEs avaliadas no Estudo de Caso.	236

Tabela 39. Característica específicas das UHEs avaliadas no Estudo de Caso.....	237
Tabela 40. Lista de palavras-chave identificadas na bibliografia do Capítulo 2.....	238
Tabela 41. Registros excluídos no processo de triagem da RB.	239
Tabela 42. Códigos e lógicas de exclusão de registros.....	242
Tabela 43. Lista de artigos excluídos no processo de triagem da RS.	245
Tabela 44. Consolidação das características gerais dos modelos e ferramentas analisados da RS.....	249
Tabela 45. Consolidação das características específicas dos modelos e ferramentas analisados da RS.....	251
Tabela 46. Consolidação das premissas e resultados do Custo de Geração.....	253
Tabela 47. Consolidação das premissas e resultados das emissões de poluentes atmosféricos e GEE.....	254
Tabela 48. Consolidação das premissas e resultados da Captação e Consumo de recursos hídricos.	255
Tabela 49. Consolidação dos resultados do atributo ISDOE.....	256
Tabela 50. Consolidação dos resultados do atributo Geração de Empregos.	256
Tabela 51. Consolidação dos resultados do atributo <i>Influência no Desenvolvimento Local</i>	257
Tabela 52. Classificação completa dos Atributos.	259

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APC	Alteração de Percepção de Conforto
H	Altura da queda d'água
AHP	Análise Hierárquica de Processo
AL	América Latina
AL&C	América Latina e Caribe
AN	América do Norte
AS	América do Sul
<i>exp</i>	Área do país exportador
<i>exp</i>	Área do país importador
<i>A</i>	Área total
ARPEL	Associação Regional de Empresas de Petróleo e Gás Natural em Latino-américa e o Caribe
<i>FA</i>	Atividade e mão-de-obra exigida localmente
<i>at</i>	Atributo ou Subatributo
bbbl	Bilhões de barris de petróleo
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BM	Banco Mundial
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAF	Corporação Andina de Fomento
CAN	Comunidade Andina de Nações
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i>
CI	Capacidade Instalada
CIER	<i>Comisión de Integración Energética Regional</i>
<i>j</i>	Coluna da matriz
<i>CON</i>	Consumo nacional de fontes energéticas
<i>d_{i,j}</i>	Conjunto de elemento de uma matriz
\mathbb{R}	Conjunto dos números reais
<i>c</i>	Crescimento anual
CP	Curto Prazo
<i>C_{th}</i>	Custos das etapas dos procedimentos legais e licenciamentos

<i>comb</i>	Custo de combustível
<i>Comb_t</i>	Custo total de aquisição de combustível
<i>Desc</i>	Custo de descomissionamento
<i>Emi_{CO2q}</i>	Custo de emissão de carbono equivalente
<i>CUG</i>	Custo de Geração
<i>I_{trans}</i>	Custo de investimento de Implantação da Rede
<i>I_{tot}</i>	Custo de investimento total
<i>O&M</i>	Custo de operação e manutenção
<i>CO&M_{trans}</i>	Custo de operação e manutenção da rede
<i>C_{imp}</i>	Custo total de componentes e equipamentos importados
<i>C_{Tot}</i>	Custo total de componentes importados e nacionais
<i>Desc_{tot}</i>	Custo total de descomissionamento
<i>C_{Trans}</i>	Custo total de transmissão
<i>O&M_{tot}</i>	Custo total de operação e manutenção
<i>Emi_{CO2tot}</i>	Custo de emissão de carbono equivalente
<i>CT_{rans_{tot}}</i>	Custo total de transmissão da geração à carga
<i>DBO</i>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
<i>eee</i>	<i>Electricity Energy Exchange (eee)</i>
<i>EP</i>	Demanda de energia vinculada aos processos da cadeia energética
<i>DQO</i>	Demanda Química de Oxigênio
<i>Dpot</i>	Densidade de Potência
<i>Dens</i>	Densidade populacional
<i>EP</i>	Demanda de energia vinculada aos processos da cadeia energética
<i>DAMB</i>	Dimensão Ambiental
<i>DPC</i>	Determinação de Potencial Completo de Recursos Energéticos
<i>DPOL</i>	Dimensão Política
<i>DSOC</i>	Dimensão Social
<i>DTEC</i>	Dimensão Técnica-Econômica
<i>DGCC</i>	Distância da Geração ao Centro de Consumo
<i>ECE</i>	Eficiência de Conversão Elétrica
<i>Amb</i>	Elemento da matriz da Dimensão Ambiental

<i>Pol</i>	Elemento da matriz da Dimensão Política
<i>Soc</i>	Elemento da matriz da Dimensão Social
<i>Tec</i>	Elemento da matriz da Dimensão Técnica-econômica
<i>Emi</i>	Emissões
<i>EMP</i>	Empregos por MW instalado
<i>EEM</i>	Empresa de Economia Mista
I_{th}	Enésima linha de uma matriz
K_{th}	Enésima coluna de uma matriz
L_{th}	Enésima linha de uma matriz
N_{th}	Enésima coluna de uma matriz
Z_{th}	Enésima região avaliada
<i>EP</i>	<i>Energy Planning</i>
<i>EOR</i>	<i>Enhanced Oil Recovery</i>
<i>En-In</i>	Envolvidos e Interessados
<i>ER</i>	<i>Energy Resource</i>
<i>E&P</i>	Exploração e Produção
<i>ESG</i>	<i>Environmental, Social and Corporate Governance</i>
<i>FD</i>	Fator de descarga
$Disp_0$	Fator de disponibilidade de projeto
<i>FD</i>	Fator de Disponibilidade do RE
<i>MPE</i>	Fator multiplicador de produtividade e exportação de energia
<i>FRS</i>	Fator de produção de resíduos sólidos e de solo deslocado
<i>FONPLATA</i>	<i>Fondo Financiero para el desarrollo de la Cuenca del Plata</i>
<i>GT</i>	<i>Gas Turbine</i>
<i>GDCO</i>	Gases Degradantes da Camada de Ozônio
<i>GEE</i>	Gases de Efeito Estufa
<i>IRP</i>	Integrated Energy Resources Planning
<i>ISDOE</i>	Impacto Social Decorrente da Ocupação Espacial
x_i^z	Indicador i determinado na área z avaliada
$max(x_i^z)$	Indicador mínimo determinado na área z avaliada
$min(x_i^z)$	Indicador mínimo determinado na área z avaliada
<i>IDH</i>	Índice de Desenvolvimento Humano
ID_{dt}	Índice de Domínio Tecnológico

<i>IRR</i>	Índice de Renovação das Reservas
<i>IDL</i>	Influência no Desenvolvimento Local
IE	Integração Energética
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
IET	Integração Energética Transnacional
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IET-AS	Integração Energética Transnacional na América do Sul
IIRSA	Iniciativa para a Integração da Infraestrutura Regional na América do Sul
LCOE	<i>Levelized Cost of Energy</i>
<i>i</i>	Linha da matriz
LP	Longo Prazo
LT	Linha de Transmissão
LTT	Linha de Transmissão Transnacional
$[D]_{i,k}$	Matriz independente
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul
MM	Milhões
Mod-Fer	Modelo e Ferramenta
MP	Médio Prazo
off	<i>Offshore</i>
on	<i>Onshore</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
<i>Par</i>	Parâmetro
IO_L	Parâmetro legal ou regulado de odor
IR_L	Parâmetro legal ou regulado de ruído
IV_L	Parâmetro legal ou regulado visual
IT_L	Parâmetro legal ou regulado de temperatura
IO_M	Parâmetro local de odor
IR_M	Parâmetro local de ruído
IV_M	Parâmetro local visual
IT_M	Parâmetro local de temperatura

<i>IND</i>	Parâmetro de qualidade do efluente líquido
<i>t</i>	Período
€	Pertence
PIR	Planejamento Integrado de Recursos
<i>PDS</i>	Poluição e Degradação do Solo
<i>Pop</i>	População deslocada
Pot	Potência
<i>Pn</i>	Potência nominal
<i>DIE</i>	Potencial de exportação de fontes e recursos energéticos
<i>Eg_i</i>	Potencial de geração
<i>Eg_{mcd}</i>	Potencial de geração de mercado
<i>Eg_{rlz}</i>	Potencial de geração realizável
<i>Eg_{teo}</i>	Potencial de geração teórico
<i>Eg_{tot}</i>	Potencial de geração total
<i>P_{imp}</i>	Preço de importação
<i>m</i>	Processos da cadeia energética
PIB	Produto Interno Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
∀	Qualquer
<i>Q_{imp}</i>	Quantidade de combustível importada
RE	Recurso Energético
RELD	Recurso Energético do Lado da Demanda
RELO	Recurso Energético do Lado da Oferta
<i>bi</i>	Região de fronteira
<i>Dev</i>	Reposição de água
R/P	Reservas e Produção
RB	Revisão Bibliométrica
RS	Revisão Sistemática
SA	<i>South America</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional
ST	<i>Steam Turbine</i>
TEI	<i>Transnational Energy Integration</i>

r	Taxa de desconto
dur	Taxa de duração
FE_{trans}	Taxa de energia transmitida
T_{th}	Tempo das etapas dos procedimentos legais e licenciamentos
P_{Imp}	Tempo total de implantação
UNASUL	União de Nações Sul-Americanas
UG	Unidade de Geração
UHE	Usina Hidrelétrica
USP	Universidade de São Paulo
UTE	Usina Termoelétrica
UTECA	Usina Termoelétrica com Ciclo Aberto
UTECC	Usina Termoelétrica com Ciclo Combinado
VPL	Valor Presente Líquido
Q	Vazão turbinada
CAP	Volume captado de água
p	Vida útil
RES	Volume útil, reservas ou potencial de geração da fonte energética
V	Volume total do corpo d'água
RES_{Hexpl}	Volume útil disponível para exploração hídrica
VPL	Valor Presente Líquido
Q	Vazão turbinada
WEC	<i>World Energy Council</i>
www	<i>World Wide Web</i>
zb	zona de carga
za	zona de geração
z	zona ou região

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
1.1	Giro Sulamericano.....	25
1.2	Objetivo	32
1.3	Estrutura da Tese.....	32
2	INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA NA AMÉRICA DO SUL.....	35
2.1	Linha do tempo da IET	35
2.2	Agentes econômicos da IET-AS.....	37
2.3	Agentes políticos da IET-AS.....	39
2.4	Projetos de IET-AS.....	43
2.4.1	Em Execução	48
2.4.2	Concluídos	50
2.4.3	Planejados	52
3	REVISÃO DOS MODELOS E FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.....	55
3.1	Revisão Bibliométrica.....	56
3.1.1	Identificação	56
3.1.2	Triagem	59
3.1.3	Visualização de domínio.....	59
3.2	Revisão Sistemática.....	62
3.2.1	Método de Pesquisa.....	62
3.2.2	Processo de Triagem Sistêmica.....	63
3.2.3	Modelo de Apresentação e Síntese de Resultados.....	64
3.3	Resultados das revisões	67
3.3.1	À amplitude	67
3.3.2	À profundidade	88
4	METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DE POTENCIAL COMPLETO DE RECURSOS ENERGÉTICOS PARA INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA TRANSNACIONAL.....	95
4.1	Levantamento e estruturação das informações prévias	97
4.1.1	Inventário energoambiental.....	98

4.1.2 Listagem e peneiramento de RE	101
4.1.3 Identificação dos En-Ins.....	102
4.2 Caracterização de Recursos Energéticos.....	103
4.3 Modelo de DPC-IET.....	106
4.3.1 Dimensão ambiental	108
4.3.2 Dimensão política	114
4.3.3 Dimensão social.....	120
4.3.4 Dimensão técnica-econômica	126
5 ESTUDO DE CASO	135
5.1 Listagem e Peneiramento	136
5.1.1 Integração Energética Transnacional - Argentina-Brasil.....	145
5.1.2 Integração Energética Transnacional - Bolívia-Brasil	145
5.1.3 Integração Energética Transnacional - Brasil-Peru.....	146
5.2 Mapeamento dos En-In.....	147
5.3 Aplicação do DPC-IET	149
5.3.1 Caracterização dos REs	149
5.3.2 Dimensão Técnica-Econômica - DTEC	150
5.3.3 Dimensão Ambiental - DAMB	156
5.3.4 Dimensão Política - DPOL.....	162
5.3.5 Dimensão Social - DSOC	171
5.4 Resultados da aplicação do Modelo - DPC-IET.....	177
6 CONCLUSÃO.....	181
6.1 O vai e vem da integração energética transnacional É resultado da falta de planejamento?	181
6.2 A busca de modelos e ferramentas de planejamento energético para à integração energética transnacional.....	185
6.3 Do gargalo ao modelo de DPC-IET	188
6.4 Consolidação de conclusões e sugestões	192
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	195
APÊNDICE A.....	229

APÊNDICE B.....	233
APÊNDICE C	238
APÊNDICE D	239
APÊNDICE E.....	245
APÊNDICE F.....	249
APÊNDICE G	253
APÊNDICE H	259

1 INTRODUÇÃO

1.1 GIRO SULAMERICANO

A América do Sul (AS), ver APÊNDICE A, possui o maior sistema hidrográfico do mundo (Statista, 2021). As suas principais bacias são o sistema do Amazonas, do Orinoco e do Prata. Esses três sistemas drenam uma área de 9,583 milhões de km², mais da metade do território. Além disso, possui grandes lagos como o Titicaca e Poopó, na região dos Andes, e o lago Maracaibo, na Venezuela. Essa característica garante à região um grande potencial hidrelétrico, 595 GW, dos quais 25% é aproveitado (OECD/IEA, 2012; IEA, 2020).

O Brasil possui o maior potencial hidroelétrico, excedendo os 250 GW, ver Figura 1. Não à toa detém a maior geração hidrelétrica da região (SielLAC, 2021) e 11,5% da produção hidrelétrica mundial (IEA, 2017a). Também destaca-se a Venezuela, como terceiro maior potencial hidroelétrico da AS (57,5 GW), 9º produtor mundial de hidroeletricidade e segundo produtor da AS (IEA, 2017a; OLADE, 2020a; SielLAC, 2021).

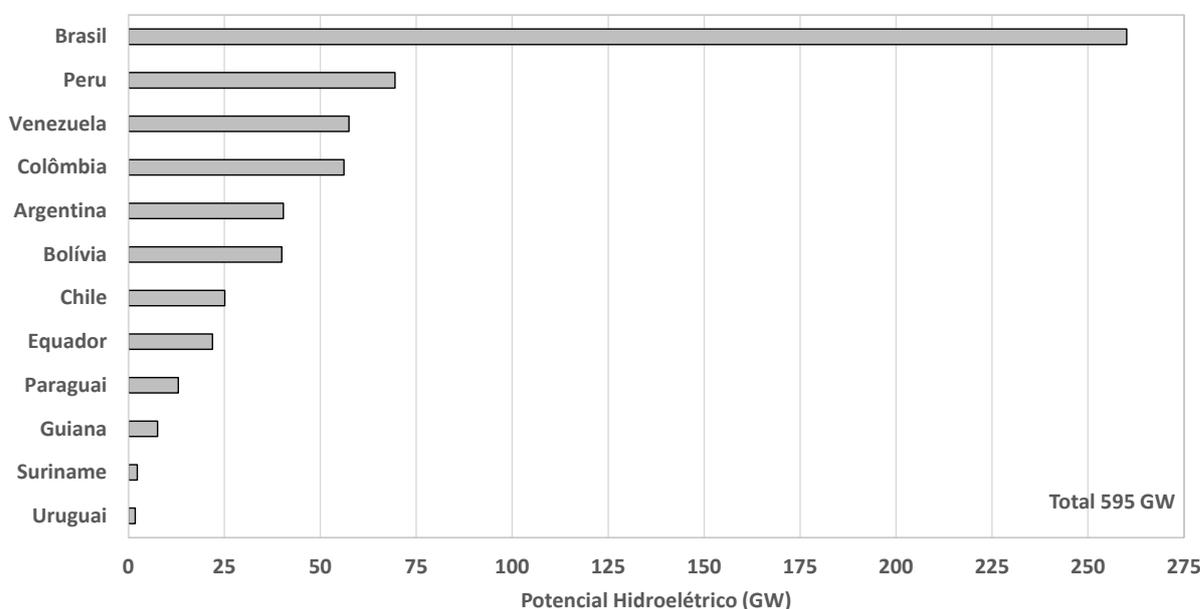
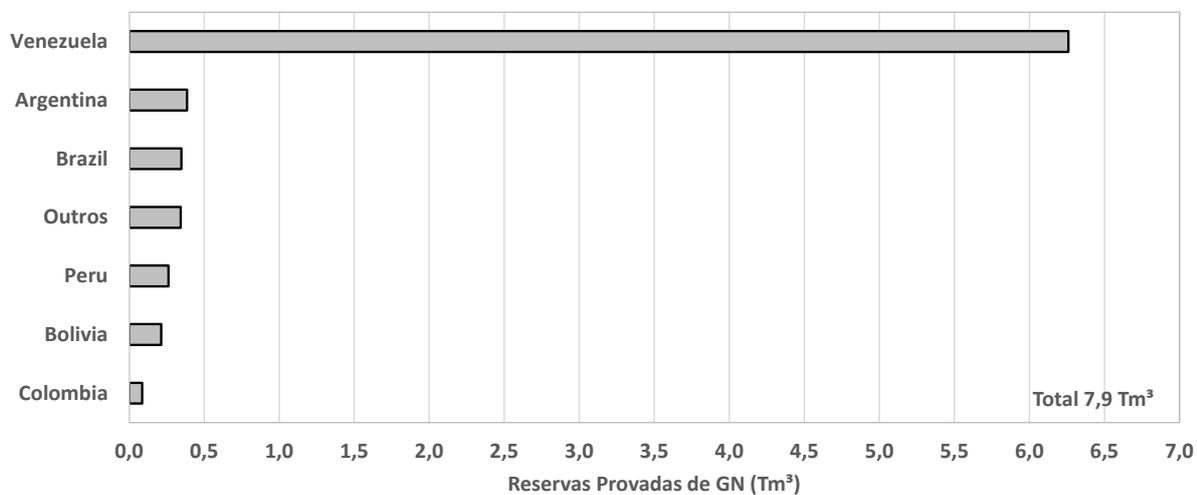


Figura 1. Potencial hidroelétrico da América do Sul.

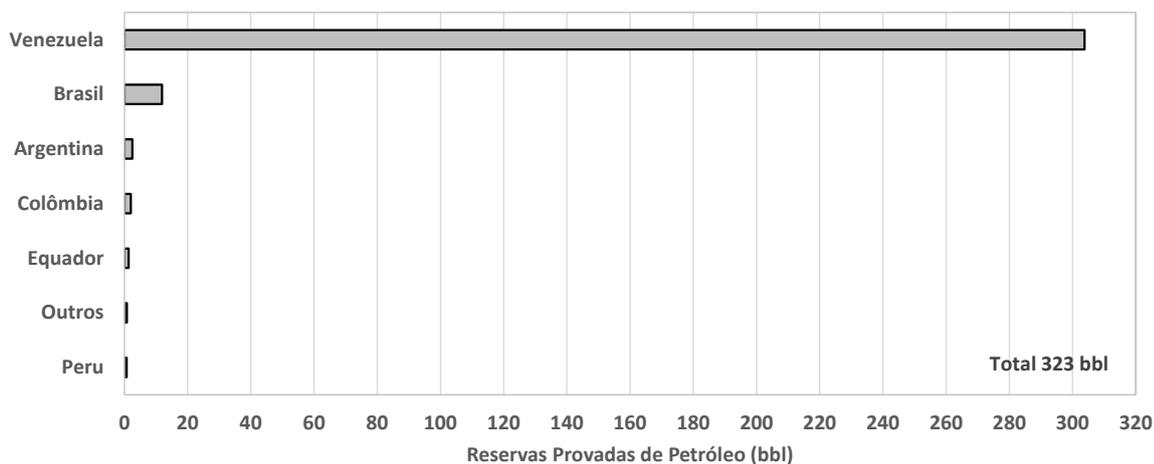
Fonte: Adaptado de OCDE/IEA (2012), SielLAC (2021) e Udaeta et al (2017).

Em relação aos hidrocarbonetos, as reservas de gás natural (GN) são de 7,1 Gm³, isso representa 4,2% das reservas provadas globais, das quais 6,4 Gm³ ou 81% estão na Venezuela, seguido de Brasil e Peru com 0,4 Gm³ cada, e Argentina e Bolívia

com 0,3 Gm³ cada (BP, 2020; IEA, 2020; OLADE, 2020a; SieLAC, 2021), ver Figura 2 (a). A região também possui grandes reservas provadas de petróleo, aproximadamente 19% do total mundial, com destaque para a Venezuela, que possui as maiores reservas provadas do mundo, 303,8 bilhões de barris de petróleo (bbl) e 94% do total da região. Brasil e Argentina também têm reservas significativas, 11,9 e 2,5 bbl, respectivamente (BP, 2021), ver Figura 2 (b). Portanto, o petróleo não pode ser negligenciado quando se trata de atender a demanda energética da AS. Uma vez que a Venezuela detém reservas que podem satisfazer as demandas regionais no longo prazo.



(a)



(b)

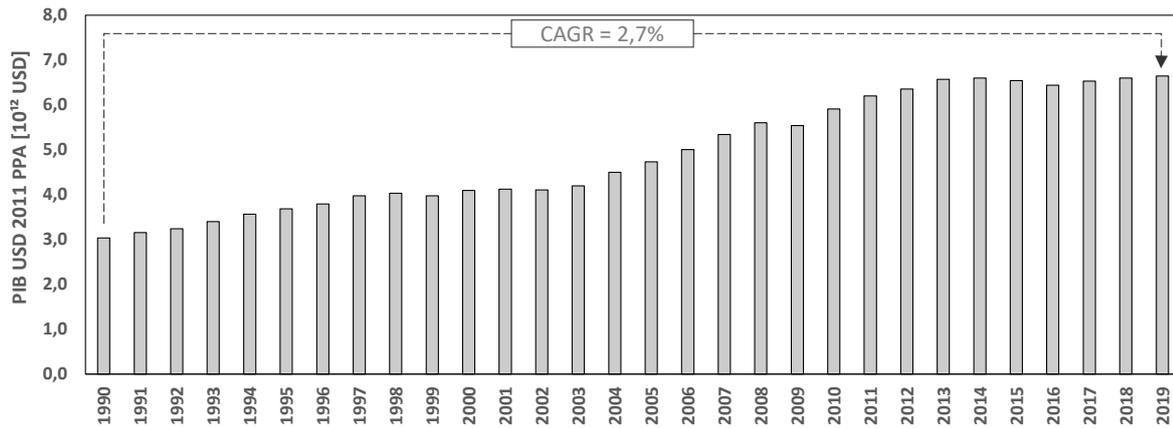
Figura 2. Distribuição das reservas provadas na AS em 2017 de (a) gás natural e (b) petróleo.
Fonte: Adaptado de BP (2021) e SieLAC (2021).

É visível que alguns países, por possuírem grandes reservas de hidrocarbonetos e potencial hidroelétrico inexplorado, são naturalmente potenciais

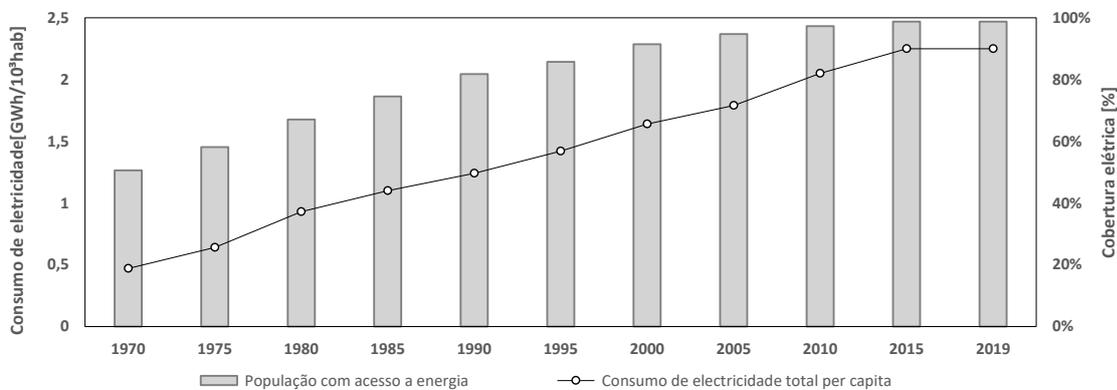
fornecedores energéticos à região, pois suas produções superam as suas demandas internas (BP, 2020; IEA, 2020).

A Argentina, o Brasil, o Chile e o Peru são grandes importadores regionais de hidrocarbonetos, com destaque para o Chile cuja demanda de energia crescente e reservas incipientes (OLADE, 2020a) pressiona-o a buscar dinamização de interligações regionais, com enfoque ao aprofundamento das interconexões com a Argentina, na construção de vínculos com Bolívia, Equador e Peru (Ministerio de Energía, 2012), e na abertura da infraestrutura de importação via terminais marítimos.

Na paisagem identificada - quanto a distribuição das fontes de energia e da demanda interna dos países -, em que o aumento crescente da demanda por recursos energéticos (RE) na AS, resultante do crescimento econômico, ver Figura 3 (a), e da ampliação do acesso à energia elétrica, ver Figura 3 (b), por parte das populações de baixa renda ou geograficamente isoladas, que economicamente ampliam a necessidade de energia e insumos para que as empresas extraiam e processem os seus bens e produtos, e socialmente para atendimento das necessidades pessoais de iluminação, climatização, transporte, etc., ou seja, bem estar (OLADE, 2020a).



(a)



(b)

Figura 3. Evolução do (a) PIB em dólar constante de 2011 por poder de paridade de compra e (b) do consumo de eletricidade per capita e de acesso à eletricidade na região da AS.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do SieLAC (2021) e WB (2018).

Torna-se inerente a necessidade de integrar a região energeticamente, uma vez que muitos dos REs são esgotáveis e não estão distribuídos de forma homogênea na geografia, conseqüentemente o planejamento energético de longo prazo (PELP) torna-se ferramenta importante para aumentar a segurança do abastecimento dos países (Oliveira da Silva *et al.*, 2021), em uma visão individual, e de toda a região, em uma visão multilateral de integração energética transnacional (IET), por meio da redução da imprevisibilidade da demanda e do controle da variação da oferta de RE e por jogar luz aos riscos e incertezas de longo prazo (LP), podendo auxiliar na conformação do *forward guidance*¹ para o setor energético dos países.

¹ Ferramenta utilizada pelos bancos centrais para prover informações à sociedade sobre as intenções e direcionamentos das políticas monetárias futuras baseadas em avaliações sobre as perspectivas de estabilidade de preços (European Central Bank, 2017).

A IET-AS ocorre por negociações e acordos bilaterais com investimentos multilaterais, tanto pelos países que se beneficiam diretamente com a IET quanto por empresas e instituições financeiras que fomentam, implantam e operam à infraestrutura (Silva *et al.*, 2018), como no caso das usinas hidroelétricas (UHE) binacionais, dos gasodutos conectando dois países, ou simplesmente linhas de transmissão (LT) para exportação de eletricidade de um país ao outro.

Essas infraestruturas, em sua maioria, são operadas em regime de concessão por empresas estatais ou de capital misto dos países detentores do empreendimento e financiadas por bancos e agências de fomento dos países detentores da infraestrutura, por bancos e fundos internacionais, bancos de fomento regionais e por empresas, em geral, estatais ou de capital misto (TBG, 2016; Udaeta and Silva, 2017).

Na região é comum um país possuir determinado RE, mas limitado acesso ao crédito para desenvolver projetos de geração e/ou transmissão, e países que demandam energia e possuem crédito, mas com exíguo RE para exploração, tornando-os dependentes de excedentes de outros países, o que envolve diversos agentes, em todas as dimensões sociais, nas negociações da cadeia energética regional, como os agentes políticos (dos estados nacionais e das agências supranacionais), econômicos (bancos e agências de fomento), empresas (públicas, privadas nacionais e multinacionais) e a sociedade civil organizada.

Neste caso, o estabelecimento de um marco regulatório ou de segurança jurídica na região pode ampliar o acesso ao crédito, a partir da percepção de segurança e previsibilidade para o tomador de decisão e investidor de LP (*forward guidance*), além de normalizar os procedimentos e a gestão de dados setoriais para a elaboração de PE em nível regional e, por fim, garantir o funcionamento de toda a cadeia energética potencializando o escoamento da energia (Silva *et al.*, 2018), uma vez que as reservas de hidrocarbonetos e as bacias hidrográficas estão assimetricamente distribuídas na região (BP, 2020; IEA, 2020), necessitando de infraestruturas que transponham fronteiras, e regimes hidrológicos e fonte primárias renováveis complementares entre o norte e sul do continente ao longo dos meses do ano (Relva *et al.*, 2015; ONS, 2017, 2021a).

Não por acaso a região possui alguns empreendimentos de IET implantados, que geralmente ficam ociosos (Almeida, 2017; CIER, 2017a; Raúl Cubillo Betancourt, 2017; Zapata, 2017) ou em longo processo de implantação e planejamento (Castro, Dassie and Delgado, 2009; Reis, 2014; Santos, 2014; Silva *et al.*, 2015). Os destaques para as IET bem-sucedidas são as UHEs binacionais e, as malsucedidas, alguns sistemas de redes² – gasodutos (Lateral-Cuiabá e Uruguaiana) e LT (*Cuestecitas-Cuatricentenario* e *Corozo-San Mateo*) -, sem relação direta com uma unidade de geração (UG) ou com grandes consumidores finais ou com reservas de longo prazo bem definidas.

Em relação aos sistemas de rede, as interconexões transfronteiriças não são diferentes tecnicamente dos sistemas de transmissão e ramais de gasodutos endógenos de um país exigindo outorgas, autorizações, permissões e concessões para a sua construção e operação (Udaeta *et al.*, 2017). Para tal, almeja-se um nível de segurança jurídica com regras claras que facilitem o acesso à infraestrutura, ao crédito e ao intercâmbio comercial entre as empresas e os consumidores dos países, respeitando as normas técnicas e ambientais locais, assim como os princípios de não discriminação e reciprocidade, além da institucionalização de um mecanismo supranacional ou *ad hoc* independentemente de arbitragem (Faria *et al.*, 2016; David, 2017).

No contexto apresentado, a IET, na AS, pode ocorrer por dois caminhos: (i) aproveitamentos binacionais, fronteiriços, construídos de forma comum por arranjos binacionais ou mesmo livremente financiados, porém com comercialização para os usuários finais bem definidas; (ii) ou por conexão entre os sistemas elétricos e de gasodutos de transporte, com conseqüente necessidade de coordenação operativa, harmonização regulatória, normas técnicas comuns e mecanismos de solução de controvérsias (EPE, 2018b).

Portanto, dentro da IET é preciso discutir e entender as necessidades particulares e regionais dos Estados nacionais, bem como o histórico diplomático entre eles, pois a conjuntura política e institucional da AS é líquida³ (L. A. Rodrigues,

² A característica fundamental de uma indústria de rede é a estrita complementaridade entre os diversos segmentos da cadeia produtiva, cujos elos estabelecem – por razões de natureza tecnológica – graus de interdependência entre os componentes da rede bem mais elevados do que aqueles existentes em outros tipos de indústria (EPE, 2018b).

³ O emprego da palavra *líquida* vem do conceito de modernidade líquida desenvolvido e cunhado por BAUMAN (2001), que diz que as relações sociais, econômicas e de produção da sociedade contemporânea atual são frágeis, maleáveis e fugazes, como os líquidos.

2012; Fontanelli *et al.*, 2015; Santos, 2015; Repsold, 2019) e se sobrepõe às suas facilidades econômicas. No sentido, que as instituições regionais e multilaterais – de caráter democrático e de Estado - enfrentam a volatilidade dos governos nacionais, que por não fornecerem proposições de políticas permanentes, limitam a atuação dessas instituições, deixando a AS à deriva das alterações de governos. Assim, é necessária uma convergência, de longo prazo, das elites econômicas e do quanto elas atuam e direcionam os seus interesses em cada um dos governos nacionais, que por sua vez, possuem o papel de dar voz institucional para atuar diretamente nas instituições criadas no âmbito multilateral.

Sendo a energia um dos alicerces da integração econômica no mundo globalizado, a IET promove o que o setor energético, característico de cada país, pode oferecer ao processo de desenvolvimento econômico e social no âmbito de políticas nacionais e regionais.

A análise dos potenciais custos⁴ e benefícios relativos à IET requer aprofundamento de métodos qualitativos e quantitativos que contribuam para aprimorar a avaliação de projetos a serem considerados no PELP. Esses métodos devem escorar-se em restrições matemáticas que representem o impacto socioambiental e político dos recursos energéticos integrados e ao mesmo tempo ascendam a modelos matemáticos de PE.

Para a realização dessas avaliações, é necessária a estruturação de uma base de dados uniforme dos países avaliados, como por exemplo dados de geração, transmissão, distribuição, projeção e potencial de expansão, fluxo de energia, preços, além de acesso à informação sobre políticas setoriais, regulatórias, estudos e inventários de potenciais energéticos de cada país. A obtenção desses dados permite avaliar e ampliar o portfólio⁵ de projetos de geração e transmissão considerados nos estudos da expansão elétrica de LP dos países.

⁴ Custos totais e não apenas custos econômicos, como por exemplo impactos ambientais e sociais, fortalecimento institucional e de Estado entre as empresas e países vinculados no processo de IET.

⁵ O efeito portfólio se refere aos ganhos obtidos quando se analisam mais pontos de geração espalhados geograficamente. Apesar de não serem exatamente complementares, esses pontos em conjunto apresentam comportamento em geral mais estável e previsível do que pontos isolados, o que pode aumentar a segurança e reduzir custos de operação do sistema.

1.2 OBJETIVO

O objetivo geral desta tese é desenvolver um modelo de avaliação de recursos energéticos disponíveis na geografia e no tempo que permitam o duo, satisfazer a demanda interna de um país e apresentar excedentes que possibilitem a viabilização de exportações de LP, contemplando as necessidades, totais ou parciais, da demanda interna do país importador.

Com este objetivo, será aplicado o modelo desenvolvido dentro do contexto da integração energética transnacional dos países da América do Sul considerando os seus potenciais energéticos, características socioambientais e políticas energéticas endêmicas, a fim de determinar os recursos energéticos disponíveis para a integração energética transnacional de LP na região. Além disso, objetivos específicos, intrínsecos ao tema, são desenvolvidos:

- Identificar e sistematizar a macroestrutura física e institucional do setor energético sul-americano, com foco nos projetos de IET existentes, em implantação e estimados para a região;
- Mapear estatisticamente o conhecimento sobre a temática IET-AS;
- Identificar e sistematizar os modelos e ferramentas de PELP empregados nos estudos e análises de PELP dos países da AS;
- Identificar as variáveis de entrada e os tipos de dimensões incorporados nas ferramentas de PELP empregadas no PELP dos países da AS;
- Determinar os elementos e premissas necessários para a modelagem do PELP vinculada à IET-AS;
- Consolidar base de dados com índices e parâmetros, qualitativos e quantitativos, do setor energético e socioambiental dos países da AS; e
- Aplicar o modelo desenvolvido por meio de um estudo de caso aplicado a projetos de IET de rede dentro do contexto territorial do Brasil a um país fronteiriço.

1.3 ESTRUTURA DA TESE

A tese é dividida em seis capítulos, ver Figura 4, o primeiro é a Introdução. O Capítulo 2 apresenta a macroestrutura das características socioeconômicas e

institucionais dos processos de IET existentes, em implantação e estimados para a região.

O Capítulo 3 apresenta uma revisão bibliométrica e posteriormente sistemática dos modelos e ferramentas de PE existentes e aplicados nos países da AS, com foco na determinação das dimensões e indicadores utilizados na elaboração dos PE nacionais.

O Capítulo 4 apresenta a estruturação teórica da modelagem de Determinação dos Potenciais Completos de Recursos Energéticos disponíveis para a Integração Energética Transnacional (DPC-IET), o qual estabelece: (i) a seleção e peneiramento dos REs disponíveis para a IET; (ii) os agentes de Estados, privados, sociedade civil e de classe envolvidas e interessadas no processo de IET; e (iii) os algoritmos e os processos envolvidos nas análises de valoração dos indicadores de IET.

O Capítulo 5 aplica a metodologia desenvolvida no Capítulo 4 em treze modalidades de projetos de IET na região da AS, com foco nos projetos IET entre o Brasil e um país fronteiriço e com prioridade de fornecimento da energia gerada para o atendimento da demanda brasileira. E, finalmente, o Capítulo 6 apresenta as conclusões gerais e específicas resultantes dos resultados e discussões estabelecidos nos capítulos 1 ao 5.

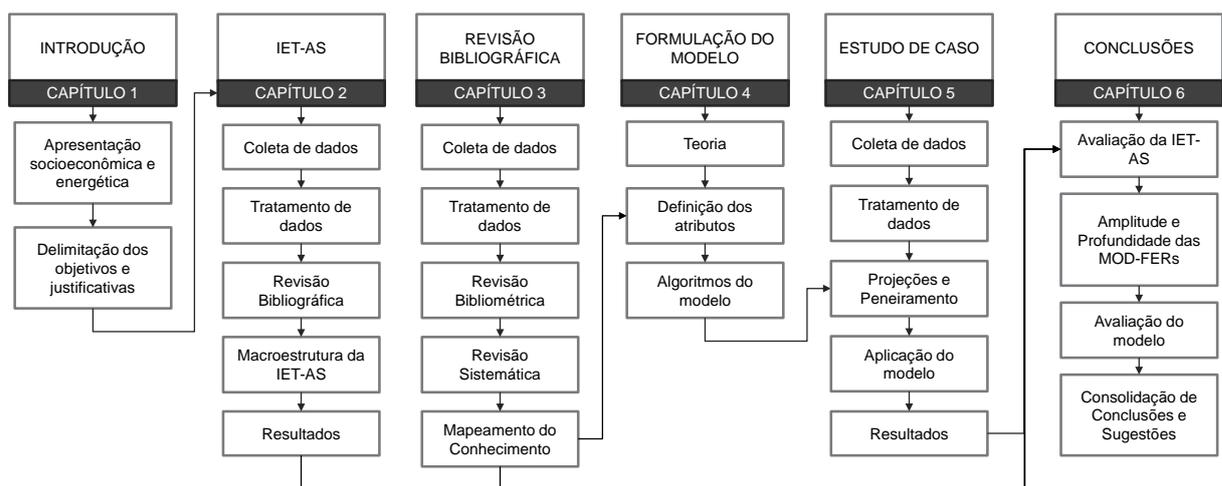


Figura 4. Estrutura da tese.

2 INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA NA AMÉRICA DO SUL

2.1 LINHA DO TEMPO DA IET

A partir da segunda metade do século XX, foram desenvolvidos na AS, mecanismos na área de integração econômica orientados por ações de blocos regionais (Antunes, 2007), como a criação da Comunidade Andina de Nações (CAN); o Mercado Comum do Sul (MERCOSUL); a União de Nações Sul-Americanas (UNASUL); e iniciativas bilaterais voltadas ao uso de recursos energéticos compartilhados (Reis, 2014; Abreu Junior, 2015; Udaeta *et al.*, 2017).

Segundo REIS (2014) essa formação pode ser dividida em três etapas. A primeira tem início na década de 70 e término no final da década de 80 e é marcada pelo empenho dos Estados nacionais para a construção de projetos binacionais. Destacam-se, neste período a construção das UHEs binacionais de Salto Grande (Argentina e Uruguai), Itaipu (Brasil e Paraguai) e Yacyretá (Argentina e Paraguai), e as LT transnacionais (LTT) associadas a elas.

O segundo período transcorre do final da década de 1980 até o início séc. XXI, originando-se na alteração do regime político, mudanças estruturais e reformas econômicas, que resultam na privatização de empresas estatais, muitas delas monopólios, e desverticalização de diversos setores da economia, como o setor energético.

Nesse contexto, há o aumento da participação privada na economia dos países sul-americanos e início da implementação de projetos com diferentes graus de participação de empresas privadas, mistas e públicas, envolvendo principalmente o setor de hidrocarbonetos. Neste período, gasodutos binacionais foram construídos, demonstrando a importância desta fonte energética na integração energética da América do Sul (IEAS). Porém, todos restritos ao arcabouço bilateral, demonstrando a ausência de uma política de integração regional e da dificuldade de coordenação de múltiplos agentes, interesses e ordenamentos jurídicos (Silva, 2016).

O terceiro período, com início no séc. XXI e término no final da década de 10, está vinculado às mudanças políticas e econômicas do continente, que resultam da eleição de chefes de Estado de centro-esquerda, com discurso nacional-

desenvolvimentista, modificando os mecanismos de financiamento de projetos na região, fortalecendo novamente a participação dos Estados e das empresas nacionais, públicas e privadas, na economia dos países e principalmente na viabilização de projetos de infraestrutura.

Com isso, na primeira década deste século, houve uma tendência de transformar as ações bilaterais em uma agenda de caráter regionalista e multilateral, visando aos projetos de infraestrutura que culminassem na integração da infraestrutura regional (Reis, 2014).

Neste contexto, em 2000 foi criada a Iniciativa para a Integração da Infraestrutura Regional na América do Sul (IIRSA), para consolidar e promover os projetos de infraestrutura de transportes, telecomunicações e energia – UG, oleodutos, gasodutos e LT - entre os países da AS (IIRSA, 2016a; Udaeta *et al.*, 2017).

A implantação dessa infraestrutura resultou em crescimento econômico e aumento da demanda de energia na região (Udaeta *et al.*, 2017). Segundo a *International Energy Agency* (IEA) (OECD/IEA, 2012) e do *World Energy Council* (WEC) (WEC, 2004), a demanda energética dos países em desenvolvimento aumentou significativamente (ENERDATA, 2012) devido ao crescimento considerável de suas economias (IMF, 2012).

Tanto que o título do Relatório de Desenvolvimento Humano de 2013 elaborado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) foi “*A Ascensão do Sul: Progresso Humano em um Mundo Diversificado*” (UNDP, 2013), constatando que novas instituições regionais facilitam a integração e a cooperação Sul-Sul e são fomentadores do fortalecimento institucional, melhoria das capacidades de organização e aumento dos recursos financeiros para implantação de políticas sociais e econômicas inovadoras na região (Oviedo, 2021) e, cada vez mais, são parceiros de cooperação para o desenvolvimento de países em desenvolvimento (Pino and Leite, 2009).

Por sua vez, o crescimento econômico viabilizou a expansão e o acesso ao financiamento por parte de instituições financeiras da região como o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), a Corporação Andina de Fomento (CAF), o Fundo Financeiro para o Desenvolvimento da Bacia do Prata (FONPLATA), e o

Banco Mundial (BM), mas principalmente por instituições financeiras e tesouros dos Estados nacionais, que estabeleciam condições conducentes ao desenvolvimento de acordos comerciais e de IET.

Apesar das dificuldades logísticas inerentes, ao histórico de conflitos binacionais, à disparidade entre os mercados nacionais, privilégio de alguns agentes, falta de harmonia regulatória entre os países (Udaeta *et al.*, 2006) e das barreiras geográficas naturais, a confiança na carteira de projetos da IIRSA consolidou-se na região. Tanto que em 2009, a IIRSA é incorporada integralmente ao Conselho Sul-americano de Infraestrutura e Planejamento (COSIPLAN), vinculado à União de Nações Sul-Americanas (UNASUL) (COSIPLAN, 2013), para manter e fortalecer as relações multilaterais na AS e dar maior apoio político aos projetos de integração de infraestrutura (Udaeta *et al.*, 2017), dentro do contexto deste novo bloco.

2.2 AGENTES ECONÔMICOS DA IET-AS

Os agentes econômicos presentes na AL e AS atuam como viabilizadores da implantação das infraestruturas de integração da região, já que possuem alto custo resultando na inviabilização de alguns projetos em países com limitado acesso ao crédito.

Os principais agentes econômicos que atuam na região são entidades públicas dos países ou blocos da região, como o BNDES, Banco do Sul, FONPLATA, CAF, além de agentes internacionais, como o BID e o Banco Mundial (Udaeta and Silva, 2017; Udaeta *et al.*, 2017).

A CAF é um organismo financeiro multilateral composto por 18 países da AL, Caribe e Europa, além de 14 bancos privados da região andina que fomenta a integração desta região. Seus investimentos são sustentados mediante operações de crédito, subsídios e apoio na estruturação técnica e financeira de projetos do setor público e privado com investimentos nas áreas de infraestrutura, desenvolvimento social, meio ambiente, políticas públicas, pesquisa, setor corporativo e financeiro (CAF, 2017).

O FONPLATA é um fundo multilateral fundado em 1974 pelos seus atuais membros (Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai). Seus financiamentos visam

à execução de estudos, projetos e programas que desenvolvam a integração física da Bacia do Prata e sua área de influência. Desta maneira, atua em diferentes programas na região, como o comitê intergovernamental da hidrovía do Paraguai-Paraná e do COSIPLAN.

Os seus principais projetos são obras de infraestrutura de caráter de bem-estar social como programas contra inundações, alerta e prevenção de catástrofes, infraestrutura urbana, habitação popular, além de infraestrutura de transporte rodoviário, marítimo, pluviais e de estudos sobre o aquífero Guarani e hidrovía do Paraguai-Paraná (FONPLATA, 2016).

O BID financia projetos de desenvolvimento nos países da AL e Caribe (ALC). Seu quadro acionista é formado por 48 estados nacionais, destes, 26 são da ALC, com participação majoritária. Devido à sua base de acionistas, o BID é capaz de tomar empréstimos nos mercados internacionais com taxas competitivas, transferindo esse benefício aos 26 países da ALC (BID, 2017). Não à toa, desde a sua fundação já aportou mais de US\$ 40 bilhões (Mcelhinny, 2008).

Além de empréstimos aos Estados da região, o banco também fornece doações, assistência técnica e realiza pesquisas. Ademais, possui um fundo para operações especiais, com financiamentos subsidiados para os países-membros mais vulneráveis, como: Bolívia, Guiana, Honduras, Nicarágua e o Haiti, que recebe doações a fundo perdido.

Porém, essa participação tem diminuído devido ao aparecimento de outros agentes financiadores na região, como CAF e FONPLATA, e por bancos nacionais, como o BNDES, essa redução é reflexo direto do crescimento econômico e fortalecimento dos países da região (BID, 2017).

O Banco do Sul é um fundo monetário ligado à UNASUL, idealizado para realizar empréstimos financeiros à programas sociais e de infraestrutura às nações da AS. Esse banco planteia, como alternativa ao FMI, BM e ao BID, a criação de maior integração entre os países da UNASUL, auxiliando as empresas e os estados-membros a tomarem empréstimos para desenvolverem projetos sem ficarem sujeitos às linhas de crédito de bancos internacionais, além, é claro, de se tornar o banco central, caso a integração da UNASUL se concretize (UNASUL, 2016).

2.3 AGENTES POLÍTICOS DA IET-AS

Existem diversos organismos supranacionais ligados à integração regional e que visam ao desenvolvimento interno e regional de suas sociedades (Udaeta *et al.*, 2017), como a CAN e MERCOSUL, blocos regionais formados, principalmente, pelos países andinos e do cone sul, respectivamente, até blocos amplos como a UNASUL - união de todos os países independentes⁶ da AS - e à ALADI - maior bloco da AL - formado por treze países latino-americanos.

No que tange ao processo de IET, assim como a integração regional, existem diversos organismos supranacionais, como a ARPEL, CEPAL, CIER e OLADE. Esses organismos possuem o papel de contribuir no processo de integração, visto que podem representar um apoio na tomada de decisões dos países da região, por meio de estudos, promoção de debates, estabelecimento de normas, marcos regulatórios e do tratamento das informações, garantindo, assim, a integração dos mercados energéticos visando à eficiência na utilização de recursos, o funcionamento de infraestrutura de redes de transporte, os marcos regulatórios e contratuais.

Segundo Castro *et al.* (2009), o processo de IET na região andina começou em 1969 com a construção da LTT Zulia-La Fria que conecta Colômbia à Venezuela. Embora o intercâmbio energético seja significativo, devido às incertezas de segurança no fornecimento de energia, argumentam que este projeto foi o primeiro passo para a IET na região e afirmam que a evolução do processo de interconexão elétrica entre os países andinos possibilitou avanços, como a previsão de construção de uma interconexão entre Bolívia e o SIEPAC.

Udaeta *et al.* (2006), ainda destacam o papel das LTT no processo de integração na CAN, observando que a Bolívia aparece como uma "dobradiça", devido às suas possibilidades de interconexão com o Brasil, Chile, Argentina e Peru, ou seja, um país que pode se tornar um corredor ou Hub físico do intercâmbio energético da região.

Além da integração física, não se podem ignorar os avanços que ocorreram em termos políticos e jurídicos para viabilizar o acesso às LTT, resultando na melhora das expectativas em torno dos projetos de integração e criação de um arcabouço

⁶ Neste caso exclui-se a Guiana Francesa, território ultramarino da República Francesa.

institucional para manutenção de fluxo contínuo de debates e negociações entre os agentes de Estado dos países membros.

Contudo, há complexidade política, econômica e técnica para a implementação de projetos transnacionais devido ao multilateralismo e à extensa área de cobertura da região. Antunes (2007) cita a proposta de integração energética referida pelo Chile em 2007, que envolveria o país juntamente com a Bolívia, Colômbia, Equador e Peru visando a um acordo multilateral andino para demover a discussão geopolítica sobre o acesso ao mar por parte da Bolívia nas negociações de IET, o que categoricamente não evoluiu.

O principal avanço regulatório sobre a temática da IET, na AS, é a Decisão nº 536 da CAN, que adota o marco geral para a interconexão sub-regional de sistemas elétricos e intercâmbio intercomunitário de eletricidade garantindo as condições legais e regulatórias de transações comerciais de eletricidade entre os países membros, conduzindo à harmonização e à utilização dos recursos energéticos da região (CIER, 2011). Apesar de ser um avanço no contexto regional da AS, a decisão encontra-se suspensa devido a fatores políticos internos dos países-membros da CAN (Batista and Rodríguez, 2017).

No âmbito do MERCOSUL, o setor energético dos países-membros apresentou mudanças consideráveis. Entre elas, destacam-se a reforma do papel do Estado dentro do setor energético, que passa a atuar mais como regulador do que como um empreendedor, e a consolidação do GN como recurso energético integrador da região, já que todos os países da região têm projetos em construção em andamento (Udaeta *et al.*, 2006, 2017; IIRSA, 2016a).

Além disso, iniciou a construção de um arcabouço regulatório, por meio da Resolução N32/98, que estimula as partes a ampliarem o intercâmbio de energia elétrica com a finalidade de complementar seus recursos energéticos, otimizar a segurança do abastecimento, realocar excedentes de energia e racionalizar a capacidade instalada dos seus membros (MERCOSUL, 2016). Esta resolução não avançou e está aquém da integração da CAN, normativa nº 536.

Assim como os agentes políticos e econômicos, a AL e AS possuem organismos diretamente ligados ao setor energético, que visam a proporcionar condições favoráveis de mercado e regulação para as empresas de energia que

desejam investir e operar na região, além de realizar estudos, unificar base de dados, convergir regulações e desenhos de mercado e auxiliar à implantação de infraestrutura de IE.

A Associação Regional de Empresas de Petróleo e Gás Natural em Latinoamérica e no Caribe (ARPEL) é formada por 35 empresas e instituições do setor de hidrocarbonetos que operam na AL, detendo mais de 90% do setor na região. É um fórum interativo para o intercâmbio de ideias, experiências, conhecimentos e identificação de questões que possam afetar o desenvolvimento da indústria de hidrocarbonetos, ou seja, é uma associação para realizar *lobby* junto aos governos da região. A associação inclui a IET, meio ambiente, segurança energética e regulação como temáticas de elaboração de propostas e demandas para análise formal dos governos (ARPEL, 2017).

Em 2004, a ARPEL consolidou o Foro Regional Permanente de IE, com a participação de todos os organismos ligados à IE da região (ARPEL, ALADI, OLADE, CIER, CEPAL), destacando que nenhum destes agentes poderia ser protagonista, e suas contribuições deveriam ser consideradas chaves, porém a liderança do processo de integração caberia aos governos nacionais (ARPEL, 2017).

A CEPAL, com sede em Santiago do Chile, foi criada em 1948 pelo Conselho Econômico e Social da ONU. Esta comissão coopera no sentido de colaborar e coordenar com organismos regionais e sub-regionais a atuação e construção de políticas públicas em diversos setores da economia. No setor energético oferece assessoria aos governos em temas de regulação de água e energia, leis de eletricidade, hidrocarbonetos, uso racional de energia e fontes novas e renováveis (CEPAL, 2017).

A OLADE, criada em 1973, nasce no contexto da crise energética internacional da década de 70, resultado do aumento crescente dos preços do petróleo que repercutiu fortemente na economia dos países da AL&C, carentes de políticas energéticas. Diante da necessidade de enfrentar esta crise, há uma mobilização política na região que culmina na criação da organização.

Atualmente a organização possui 27 países-membros e um país participante, a Argélia. A OLADE é uma organização política e de apoio técnico, cujos estados-

membros realizam esforços comuns para a IE da região, sempre buscando o desenvolvimento sustentável com a assessoria e cooperação de todos os membros. Os serviços fornecidos pela organização são diversos, abrangendo desde a estruturação e consolidação de base de dados do setor energético dos estados-membros, até trabalhos técnicos, artigos, organização de eventos, cursos de capacitação e assessoramento de projetos e intercâmbio de informação e tecnologia (OLADE, 2017).

A CIER foi criada em 1965 pelas empresas sul-americanas do setor elétrico. Atualmente, é uma organização não governamental que compreende as empresas de eletricidade e organismos sem fins lucrativos unidos com os órgãos do setor elétrico dos estados membros. Cada país membro possui um comitê nacional formado por representantes das empresas elétricas do seu país. Os produtos e serviços que o CIER fornece, assemelham-se aos da OLADE, porém seu foco é no setor elétrico dos países-membros (CIER, 2017c).

O COSIPLAN é um órgão da UNASUL, criado em 2009 durante encontro presidencial da UNASUL, quando decidiu-se pela substituição do Comitê de Direção Executiva da IIRSA por um Conselho em nível de Ministros. Com a medida, os países-membros buscaram conferir maior suporte político às atividades desenvolvidas na área de integração da infraestrutura, de forma a assegurar os investimentos necessários para a execução de projetos prioritários definidos em um Plano de Ação Estratégico para os próximos 10 anos, estabelecido na Agenda Prioritária de Projetos, que funciona como indutor da integração da infraestrutura regional, estratégica para o desenvolvimento sul-americano.

O COSIPLAN, além de contemplar mecanismos de coordenação por meio de delineamentos estratégicos, promove o intercâmbio de informações entre os governos envolvidos com vista ao desenvolvimento e seguindo princípios que envolvem a aproximação entre os países pela redução de barreiras internas ao comércio, dos gargalos de infraestrutura, dos arcabouços regulatórios e de operação das redes dentro do contexto do regionalismo de eixos de integração e desenvolvimento (EID)⁷, ver Figura 5, ou seja, regiões identificadas por seu inter-relacionamento econômico.

⁷ É uma divisão espacial do território sul-americano organizado em 10 eixos: Andino, Amazonas, Peru-Brasil-Bolívia, Capricórnio, Escudo da Guiana, Sul Andino, Interoceânico Central, MERCOSUL-Chile, Hidrovia Paraná-Paraguai e Sul) (COSIPLAN, 2013; IIRSA, 2016a; Udaeta et al., 2017), essas regiões claramente transcendem os limites de blocos econômicos existentes.

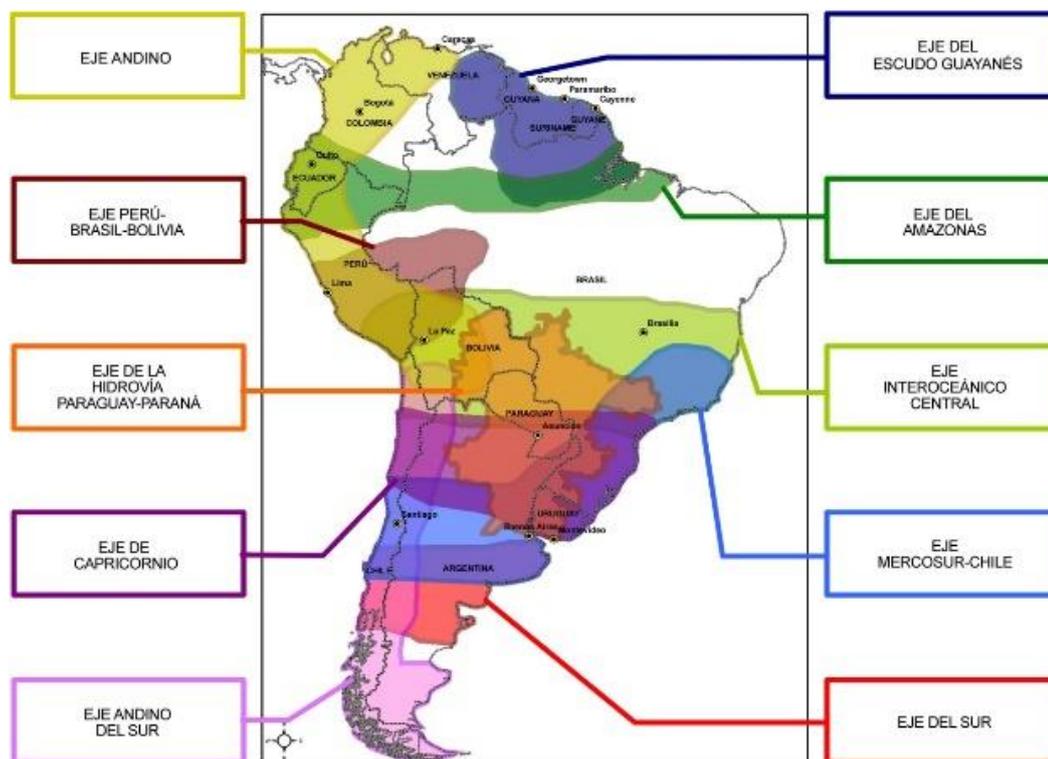


Figura 5. Eixos de Integração e Desenvolvimento.
Fonte: IIRSA (2016a).

2.4 PROJETOS DE IET-AS

A distribuição das interconexões transfronteiriças na AS é dividida em três regiões: (i) as dos países andinos⁸ mais a Venezuela e Brasil; (ii) a dos países do MERCOSUL mais o Chile (formando o cone sul), e (iii) a dos países do arco-norte (norte do Brasil, Guiana, Guiana Francesa⁹, Suriname e Venezuela).

A partir dessa divisão, fica evidente que algumas regiões sobrepõem-se, formando um arranjo que pode integrar todos os países da região via LTT (PSR, 2018), inclusive com a região da América Central, acessando o SIEPAC¹⁰, ou por redes de transporte de GN, aferindo maior coesão geopolítica à região.

As LTTs da região andina caracterizam-se por atendimento em período sazonal e intermitente, principalmente em caráter emergencial, quando há longos períodos de seca na região, resultado do fenômeno El Niño (Almeida, 2017; Rameli, 2017; Raúl Cubillo Betancourt, 2017; Valverde, 2017; Zapata, 2017).

⁸ Bolívia, Chile, Colômbia, Equador e Peru.

⁹ A Guiana Francesa é um território ultramarino da República da França.

¹⁰ O SIEPAC - *Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central* – é um sistema de LTT que forma um corredor de transmissão entre os países da região (CAF, 2013; Valverde, 2017).

A região do MERCOSUL possui UHE binacionais e suas respectivas LTTs, com comercialização e intercâmbio energético constante, e LTTs não vinculadas a uma UG específica que operam em caráter extraordinário e temporário por meio de portarias temporárias (MME, 2018b, 2020a), que não apresentam solução definitiva para o intercâmbio energético perene.

No caso do arco-norte, há a interconexão entre Brasil e Venezuela, que liga Guri (Venezuela) a Boa Vista (Brasil). Essa LTT propicia a comercialização de energia, uma complementariedade sazonal dos recursos de geração, aumento da confiabilidade dos sistemas elétricos e, principalmente, viabiliza a promoção de infraestrutura em países sem acesso a crédito de financiamento e expande a internalização de receita com possível geração de superavit para o país exportador de energia.

Quanto ao transporte de GN, os gasodutos transnacionais estão concentrados nos países do cone sul mais a Bolívia. A Argentina possui a maior rede de gasodutos da região e se conecta com o Chile por meio de 07 gasodutos e com o Brasil e a Bolívia, por meio de uma unidade cada, totalizando 09 gasodutos transnacionais.

Excluindo a conexão com a Bolívia, ocorrida no final dos anos 60 e com fluxo da Bolívia para a Argentina, essas conexões derivam de uma conjunção de fatores favoráveis para Argentina ao longo da década de 90, consistindo em grandes reservas provadas de GN, baixo risco regulatório, estabilidade política e cambial e facilidade de acesso ao crédito internacional. Esses fatores somados favoreceram à implantação de gasodutos para a exportação. Os gasodutos com o Chile estão conectados a diferentes mercados (usos finais), já o gasoduto Uruguaiana, Argentina-Brasil, é para fornecimento de GN exclusivo para a operação da Usina Termoelétrica (UTE) de Uruguaiana, ver APÊNDICE B.

Porém, devido ao declínio das reservas de GN argentinas, a limitada expansão da produção e prospecção de novas reservas e um inverno extremo, as exportações de GN foram interrompidas deixando a infraestrutura ociosa, reduzindo a segurança jurídica do cumprimento dos contratos firmados e, principalmente, impactando negativamente na amortização dos investimentos e na economia dos países importadores, tornando-se um trauma nas relações bilaterais da região. Além disso, alterou a estrutura de operação do setor de transporte, em que os agentes privados

passaram somente a operar os gasodutos e as decisões estratégicas e os investimentos ficaram a cargo do Estado (Reggiani, 2018)

Outro gasoduto importante na AS é o gasoduto Brasil Bolívia (GASBOL), um marco significativo na IET-AS, dada a sua notoriedade como consolidador do GN na matriz energética brasileira (Reis, 2014). Esse gasoduto conecta a região produtora da Bolívia com a região da costa brasileira, fornecendo GN para diversos agentes e setores da economia (EPE, 2019).

Ressalta-se, que o tratado e o contrato assinado entre os agentes detentores do GASBOL não excluía a importação de GN de outros países por meio do gasoduto, já sendo prevista a possibilidade de futuras interligações com Peru e Argentina (EPE, 2017). Além disso, na porção boliviana do gasoduto, há um ramal que se conecta a Cuiabá no Brasil. Esse gasoduto está vinculado à UTE Mário Covas, ver APÊNDICE B.

Uma ululação, mesmo demasiada despendia de energia para operar a logística de despacho da UTE Uruguaiana. Ela por si só é um exemplo que a integração da infraestrutura gera resultados de LP. Em períodos em que a ONS programa o seu despacho, mesmo com déficit de oferta de GN no mercado interno argentino, o agente operador brasileiro importa GNL, injeta na central de regaseificação de Baía Blanca, na Argentina, gerando oferta suficiente neste mercado interno, o que permite a exportação para o Brasil e, por sua vez, o despacho da UTE.

O Chile usou operação semelhante à brasileira para levar GN da região norte do país à região sul. Como a sua infraestrutura interna de gasodutos não está conectada, o Chile passou a injetar gás seco nos terminais de GNL do norte do país, enviado à Argentina, por meio dos gasodutos transnacionais existentes, que por sua vez transportava para as UTEs, conectadas aos ramais sul dos gasodutos transnacionais. Desta forma, o Chile operava as suas UGs com o auxílio de uma infraestrutura de rede transnacional.

Quanto à participação dos agentes supranacionais, o COSIPLAN ao longo de dez anos, consolidou uma carteira de 579 projetos, ver Tabela 1. Em estudo (23,5%), pré-execução (28,8%), execução (29,2%) e concluídos (18,5%), com investimento estimado de US\$ 163,069 bilhões (IIRSA, 2016a).

Tabela 1. Carteira de projetos do COSIPLAN.

Ano	Nº Projetos	Investimento Estimado (x10 ⁶ USD)
2004	335	37.425
2007	349	60.523
2008	514	69.000
2009	510	74.542
2010	524	96.119
2011	531	116.121
2012	544	130.139
2013	583	157.731
2014	579	163.069

Fonte: Adaptado de IIRSA (2016a).

O setor de energia concentra 59 projetos, dos quais 27 (46% do total) são destinados à UG, representando 75% do investimento total, e 32 projetos de LTT (COSIPLAN, 2013). No caso do setor elétrico, os projetos concentram-se na construção de novas LTTs, 52,5% do total de projetos e 25,1% dos investimentos. As UHEs, por se caracterizarem grandes empreendimentos de geração de energia elétrica, detêm 27,1% da carteira de projetos e 63,8% dos investimentos, ver Tabela 2.

Tabela 2. Tipos de projetos do setor energético.

Setor Elétrico	Projetos		Investimento	
	Quantidade	%	[MM USD)	%
Geração	27	45,8	37.966	74,7
Hidrelétricas	16	27,1	32.418	63,8
Termoelétricas	5	8,5	2.476	4,9
Nuclear	2	3,4	1.740	3,4
Outras	4	6,8	1.332	2,6
LTT	32	54,2	12.865	25,3
Novas	31	52,5	12.740	25,1
Adequações	1	1,7	125	0,2
Total	59	100	50.830	100

Fonte: Adaptado de IIRSA (2016a).

Esses projetos recebem investimento, principalmente de parceiras público/privadas (68% do total de investimento), e do setor público (25%), ver Tabela 3. Essa característica deve-se ao alto valor individual dos projetos, longo período de amortização do investimento e pelo fato de serem estruturantes, ou seja, possuem viés de abertura ao mercado pela criação de condições de acesso a novas regiões, empresas e sociedade, e de escoamento das suas produções.

Tabela 3. Característica do tipo de financiamento.

Setor de Energia	Projetos		Investimento	
	Quantidade	%	[MM USD)	%
Privado	07	12	3.435	7
Público	38	64	12.871	25
Público/Privado	14	24	34.524	68
Total	59	100	50.830	100

Fonte: Adaptado de IIRSA (2016a).

Ao se analisarem esses dados, verifica-se que o COSIPLAN + IIRSAperseguiu os seus objetivos e consolidou uma carteira ampla de projetos de interconexão física. Uma vez implantadas fortalecem vínculos entre os agentes e mercados dos países envolvidos. Este fenômeno está principalmente relacionado: à construção de uma rede de rodovias e hidrovias para interligação da costa Atlântica à costa do Pacífico facilitando o fluxo de mercadorias em todo o continente (Reis, 2014); e à ampliação da cobertura de comunicação, LT e oleodutos entre os países.

Gudynas (2008) e Reis (2014; 2015) questionam os interesses por trás dos projetos da IIRSA, que privilegiavam as interconexões físicas, relegando o fortalecimento de outros aspectos da integração, tais como: relações políticas; relações produtivas e culturais; harmonização das políticas setoriais; e consideração aos aspectos sociais e ambientais. Porém, essa crítica não condiz com a essência do organismo, que visava a viabilização da infraestrutura física e *hoc per ipsum*, garantindo o diálogo prévio entre os agentes envolvidos e interessados (EN-IN) e o estabelecimento de regras contratuais de LP, por meio de uma avaliação holística da complementariedade entre os diferentes projetos e EID existentes nas diversas regiões da AS. Portanto, essa crítica não se fundamenta nos objetivos do organismo.

Em relação à busca do multilateralismo no processo de integração sul-americana, cabe destacar: a Bolívia está se tornando um grande fornecedor de GN para os países da região, como Argentina e o Brasil, e tendo um papel de coordenação entre os países do Cone Sul e da CAN; e o Brasil, por ser um grande importador de energia da região, indutor de empreendimentos fora de seu território para satisfazer a sua demanda interna, diversificar e aumentar a segurança do abastecimento e inserir o capital brasileiro em projetos na região por meio de financiamento do BNDES e pela participação de empresas brasileiras de construção civil (Udaeta *et al.*, 2017).

Nesse contexto, devem ser destacados os estudos de viabilidade de implantação de UHE de IET realizados por empresa brasileira e de mais sete países¹¹ da AS que somam 12.000 MW de CI a serem construídas por empreiteiras regionais, com financiamento do BNDES e fornecimento de energia para os mercados internos dos países envolvidos (ELETROBRAS, 2013).

A seguir, serão analisados projetos de IEAS com base: no tipo de projeto; região de implantação; diplomacia; fonte financiadora; e montante de investimento. A metodologia de seleção de projetos considera: (i) projetos vinculados ao COSIPLAN; (ii) de estrutura física de IET; e (iii) concluído, em fase de execução ou projetado.

2.4.1 Em Execução

Segundo a base de dados do COSIPLAN (2017a), existem 12 projetos em fase de execução totalizando US\$ 27,327 bilhões, dos quais três condizem com os critérios estabelecidos na metodologia e os outros estão relacionados principalmente às UGs nacionais.

2.4.1.1 *Interconexão Elétrica Equador-Peru*

Este projeto binacional é uma LTT com nível de tensão de 500 kV, que tem a finalidade de: realizar o intercâmbio de eletricidade de forma sincrônica; harmonizar as regulações; garantir o abastecimento de energia; e desenvolver mecanismos de importação e exportação entre ambos os países (COSIPLAN, 2021g).

O tipo de financiamento é público, com a participação dos tesouros nacionais dos dois países. Os estudos técnicos foram realizados pela CELEC EP, Corporação Elétrica do Equador, que cobriu todos os custos (COSIPLAN, 2021g). Essa LTT fará parte da iniciativa do Sistema de Interconexão Elétrica Andina (SINEA), gestada no bojo da CAN.

2.4.1.2 *Interconexão Elétrica Colômbia-Venezuela*

Esse projeto binacional consiste na construção de uma LTT bidirecional, de 34,5/13,8 kV e 41 km de extensão, que conectará as cidades fronteiriças de San Fernando de Atabapo, na Venezuela, à Guainia, na Colômbia (COSIPLAN, 2021a).

¹¹ Argentina; Bolívia; Colômbia; Guiana; Peru; Suriname; e Venezuela

Com investimento USD 2.8 milhões, financiado pelo tesouro nacional de ambos os países. A LTT estará vinculada à UTE colombiana de Inírida. O combustível utilizado na geração será fornecido pela Venezuela, a preços praticados no mercado interno venezuelano de San Fernando de Atabapo, dessa forma o agente importador de eletricidade compensará os custos de geração e transmissão por parte do agente exportador (colombiano) (COSIPLAN, 2021a).

Esse modelo de IET chama a atenção, pois é um modelo de compartilhamento das vantagens de cada país. Do lado colombiano, há a infraestrutura física e equipe técnica de geração e transmissão mobilizada. Do lado Venezuelano há toda uma infraestrutura do setor de petróleo, a preços competitivos, implantados no país. Portanto, há complementação internacional na cadeia do RE, tornando o processo competitivo e robusto do ponto de vista técnico e operativo para a região.

O modelo venezuelano que utiliza as suas reservas de petróleo para integrar a região latino-americana é usual. Esse mecanismo foi utilizado na construção das relações da *Alianza Bolivariana para los Pueblos de Nuestra América* (ALBA-TCP) e na formação de associações regionais de petróleo, como a PETROCARIBE (PETROCARIBE, 2007; ALBA-TCP, 2016).

2.4.1.3 Interconexão Elétrica Uruguai-Brasil

A LTT é um projeto binacional entre o Uruguai e o Brasil, que consiste na construção de uma LT de 500 kV, de 60 km entre San Carlos no Uruguai até a estação de conversão de frequência, 50/60 HZ, e uma segunda LT de 230 kV com 9 km da conversora até a subestação Presidente Médici no Brasil (COSIPLAN, 2021h).

Esse sistema de rede visa a habilitar mercados de exportação para os eventuais excedentes das UGs uruguaias e para a energia secundária brasileira em períodos de excedentes hidroelétricos e de geração térmica associada à UG não utilizada. Além disso, dada a conexão física existente entre os dois países com a Argentina, almeja-se utilizar a LTT como forma de triangulação multilateral de energia entre os três países.

O montante financiado é US\$ 349 milhões, e envolve agentes multilaterais, de caráter público como: CAF, US\$ 30 milhões; Tesouro Nacional de ambos os países, US\$ 236 milhões; e FOCEM, US\$ 83 milhões. As empresas detentoras dessa LTT

são Eletrobrás e a UTE (uruguaia). A Eletrobrás é a responsável pela obra e já recebeu autorização da ANEEL para importar e exportar energia elétrica através desta linha por meio da Resolução Autorizativa nº 2.280/2010 (COSIPLAN, 2021h).

2.4.2 Concluídos

Segundo a base de dados do COSIPLAN (2017a), há 21 projetos concluídos totalizando US\$ 22,617 bilhões. Dois destes projetos condizem com os critérios estabelecidos na metodologia, dois são UHE construídas antes da formação do COSIPLAN/IIRSA (Itaipú e Yacyretá), e um se trata de um oleoduto (Nor-Peruano) entre o Equador-Peru.

2.4.2.1 *Projeto de Interconexão Elétrica Colômbia-Ecuador*

Em operação desde 2007, a LTT bidirecional, de 230kV, 213 km de extensão e capacidade de 200 MW, conecta as subestações Pasto (Colômbia) e Quito (Ecuador). Sua implantação, financiada pelo Tesouro Nacional de ambos os países ao custo de US\$ 45,4 MM, consiste em fornecer energia para o Ecuador em períodos de racionamento, substituir a geração de eletricidade a partir de combustíveis fósseis e, em épocas de chuva, exportar energia para a Colômbia. Em 2009, mesmo com a escassez hídrica colombiana resultante dos efeitos do El Niño, a exportação foi de 1.077 GWh, superando os dois primeiros anos de operação (COSIPLAN, 2017e).

2.4.2.2 *Projeto de Interconexão Elétrica Colômbia-Venezuela*

O projeto de USD 125,2 MM foi implementado com financiamento público de ambos os países para a adequação das duas principais LTT entre Colômbia e Venezuela, as LT Cuestecitas-Cuatricentenario y Corozo-San Mateo de 230kV cada (COSIPLAN, 2017c).

As exportações à Venezuela através desta LTT foram de: 222,25 GWh no ano de 2009; em 2010 não houve intercâmbio de energia devido à escassez hídrica; em 2012, a ISAGEN, Empresa Elétrica Colombiana, e a CORPOELEC, Corporação Elétrica Venezuelana, estabeleceram um contrato de fornecimento de 30 GWh mensais durante onze meses, com fluxo da Colômbia para a Venezuela. Ao final desse contrato, a LTT permanece inoperante, ou seja, sem intercâmbio energético entre os países.

2.4.2.3 Linha de Transmissão de 500 kV Itaipu – Assunção

Este projeto consiste na construção de uma LTT de 500 kV e 354 km de extensão de Itaipu até a estação Villa Hayes, região de Assunção, e a ampliação da estação da Villa Hayes entre o Brasil e o Paraguai (COSIPLAN, 2017d).

A ampliação da LTT melhora a qualidade do serviço de transmissão; a confiabilidade de fornecimento (corrigindo a baixa tensão do sistema); e reduz as perdas técnicas de transmissão que alcançam 10% durante o horário de pico, uma vez que a LTT existente operava com 85% da sua capacidade e os transformadores da interconexão com Itaipu no limite desde 2011. Além disso, a capacidade adicional de transmissão incrementa o intercâmbio de energia com a Argentina através da interconexão de 220kV (COSIPLAN, 2017d).

Os agentes financiadores dos US\$ 555 milhões foram: tesouro nacional dos dois países com US\$ 155 MM; e o FOCEM com US\$ 400 MM . O término do projeto ocorreu em 2013 (COSIPLAN, 2017d).

2.4.2.4 Extensão do Oleoduto Nor-Peru

O projeto de extensão do oleoduto Nor-Peru faz parte do Plano Binacional de desenvolvimento entre Peru e Equador. Com investimento de US\$ 800 MM, financiado pelo setor privado, consistiu na construção de ramais na zona sul oriental do Equador para o aumento da capacidade de transporte de óleo combustível pesado e da exportação da produção da Bacia do Marañon, selva do norte peruano (COSIPLAN, 2017b).

2.4.2.5 Represa Hidroelétrica de Yacyretá

A UHE de Yacyretá, binacional da Argentina e Paraguai, tem CI de 3,1 GW e geração de 12-20 TWh/ano. A UHE foi financiada pelos tesouros da Argentina e Paraguai. Com um custo inicial estimado em US\$ 1,2 bilhões, a obra foi parcialmente concluída por US\$ 15 bilhões, porém, faltam diversas obras para que a UHE opere na sua capacidade máxima (COSIPLAN, 2017a).

Em relação à geração, 60% são destinados à Argentina, o que corresponde a 22% do total de eletricidade consumida anualmente no país. Para o Paraguai, a

energia gerada complementa e sua demanda interna e o excedente é exportado para a Argentina, uma vez que cada país detém 50% da CI.

2.4.3 Planejados

2.4.3.1 *Construção da Planta Hidrelétrica de Corpus Christi*

A discussão sobre a sua construção remonta ao mesmo período que as construções de Itaipu e Yacyretá, mas o fato de o Paraguai e a Argentina levar adiante a assinatura do Tratado de Yacyretá e não o de Corpus Christi, inviabilizou a sua construção à época, o que inviabilizaria o projeto de Itaipu. Para chegar a um acordo, os três países assinaram um acordo diplomático triparte em 1979 (Oxilia, 2009).

O Projeto tem como finalidade a construção de uma UHE binacional no rio Paraná, fronteira natural entre a Argentina e Paraguai. O custo previsto para sua construção é de US\$ 4,2 bilhões a ser financiado pelo tesouro nacional dos dois países. O estudo de impacto ambiental já foi realizado. Até o momento os dois países estão completando os estudos básicos e elaborando o tratado para a execução da obra.

Estudos concluídos em 1984 estimaram que a potência instalada da usina será de 4.608 MW com geração média anual de 20.100 GWh. Este empreendimento somado à Itaipú, Yacyretá e Itacorá-Itatí, alcançará uma geração superior a 123.000 GWh/ano (COSIPLAN, 2017a).

2.4.3.2 *Hidrelétricas Binacionais Garabi-Panambi*

As UHEs Garabi e Panambi, de âmbito binacional, têm o intuito de aproveitar o potencial do rio Uruguai. Ambas possuem CI de 2.200 MW e custo total estimado de US\$ 5.202 MM. A UHE de Garabi terá: CI de 1.152 MW; geração de 5.970 GWh/ano; e investimento total de US\$ 2.728 MM. A UHE Panambi terá: CI de 1.048 MW; geração de 5.475 GWh/ano; e investimento de US\$ 2.474MM (COSIPLAN, 2021b).

Esses projetos seriam financiados pelos tesouros nacionais dos dois países. Do lado brasileiro, até 2014 a obra fazia parte do PAC 2 (Programa de Aceleração do Crescimento) e seria financiado pelo BNDES (COSIPLAN, 2021b).

Em novembro de 2012, os governos da Argentina e Brasil apresentaram o cronograma de estudo de viabilidade dos aproveitamentos hidroelétricos Garabi e

Panambi que começaram em 2013. Naquele ano, previa-se o início da operação em 2020 (Eletrobras and Ebisa, 2012).

2.4.3.3 Projetos Peru-Brasil

Em 2009, foi assinado pelos membros do executivo dos dois países um acordo para a construção de seis usinas hidrelétricas: Inambari (2.000 MW), Sumabeni (1.740 MW), Paquitzapango (2000 MW), Urubamba (940 MW), Vizcatán (750 MW) e Cuquipampa (800 MW), que totalizam CI de 9.000 MW com investimento estimado de US\$ 15 bilhões (ELETROBRAS, 2013).

Esses empreendimentos estão localizados, principalmente na bacia amazônica peruana, em áreas de alta biodiversidade e com diversas nações originárias. A natureza desses empreendimentos é iluminada por contradições envolvendo seus ganhos econômicos e impactos ambientais. De fato, apesar dessas iniciativas visarem a atender aos interesses econômicos dos países, as avaliações de impactos socioambientais são deixadas em segundo plano, podendo resultar na inviabilização dos projetos.

A UHE de Inambari, em termos de geração de energia, será a maior instalada em território peruano e a quinta maior fonte individual de fornecimento de eletricidade ao Brasil. Ainda não está definido, mas se estima que 80% da energia produzida será exportada ao Brasil e grande parte dos recursos empregados para a sua construção viria do BNDES. No entanto, o Peru cancelou a licença provisória do consórcio de Inambari devido a protestos no departamento de Puno alegando que a UHE será mais benéfica ao Brasil do que ao Peru, já que o impacto ambiental ocorreria apenas no Peru (ELETROBRAS, 2013).

2.4.3.4 Outros Projetos via Eletrobrás

À Eletrobrás estuda projetos de IEAS: na Bolívia com a implantação da UHE Cachuela Esperança com 800 MW e a Binacional Guajará-Mirim de 3.000MW, totalizando investimentos de US\$ 5.000 milhões; na Guiana a viabilidade de uma UHE de 1.500 MW, além de estar mapeando o potencial hidroelétrico total do país, estimado em 8.000 MW (ELETROBRAS, 2013).

A geração provida pela energia gerada na Guiana seria importada para o Brasil até o Estado de Roraima, para abastecer o estado que utiliza principalmente energia

elétrica de UTE a óleo combustível e importada da Venezuela. Este estado é um sistema isolado, ou seja, não está conectado ao SIN.

3 REVISÃO DOS MODELOS E FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

A revisão da literatura não preceitua um método específico, pois o próprio termo é genérico, mas visa a fornecer um panorama da literatura recente ou atual sobre um determinado tema (Miljand, 2020), o que pode versar uma gama de asserções em vários níveis de abrangência e completude (Grant and Booth, 2009). De certo modo, todas as revisões têm certas semelhanças com uma revisão sistemática ou literária (Miljand, 2020).

Neste sentido, as opções de metodologias selecionadas sedimentam-se na identificação de modelos e ferramentas (Mod-Fer) de PE existentes e compreensão da forma como elas incorporam o contexto da IET, com foco nos países da AS.

Portanto, a metodologia de desenvolvimento teórico da revisão bibliográfica está organizada em duas etapas: (i) revisão bibliométrica (Chen, Ibekwe-SanJuan and Hou, 2010; Zhou *et al.*, 2018; Savian, Minuzzi and Siluk, 2019; Jiang and Ashworth, 2021); e (ii) revisão sistemática (Auld *et al.*, 2014; Miljand, 2020; Relva *et al.*, 2021), ver Figura 6.

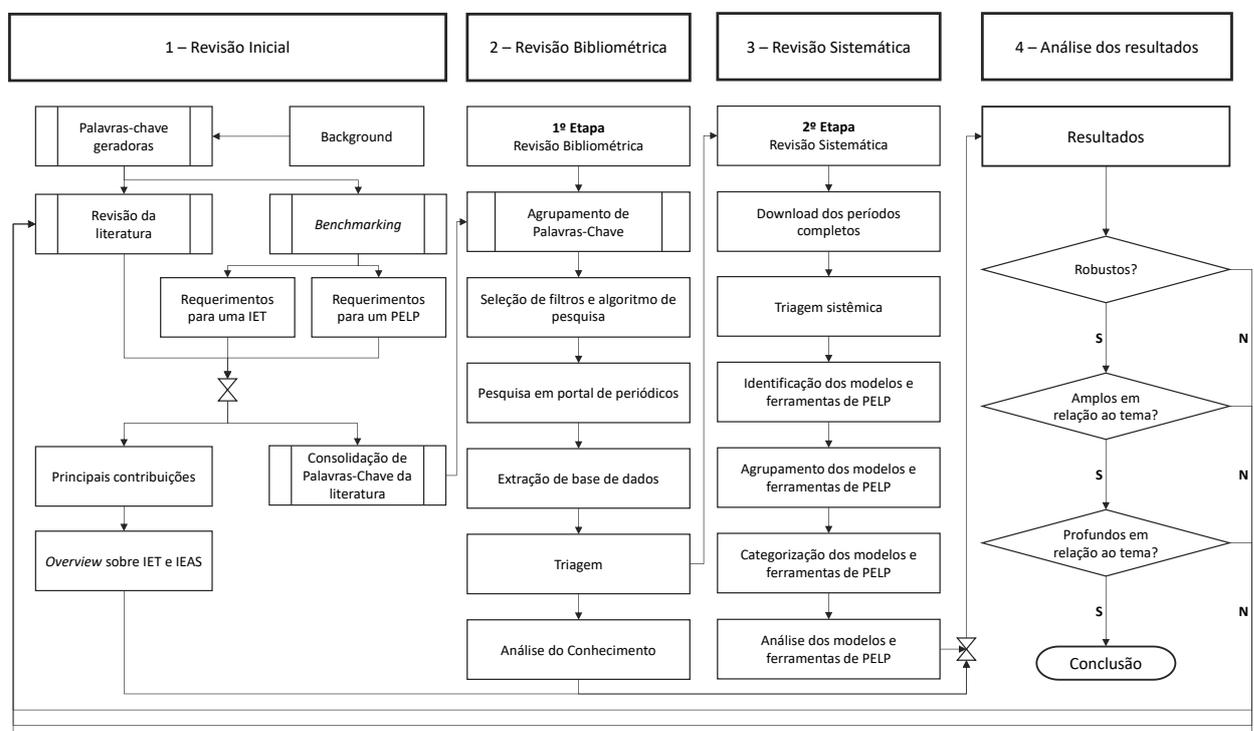


Figura 6. Arranjo esquemático da metodologia de revisão.

A **Primeira Etapa** consiste numa Revisão Bibliométrica (RB) com foco no levantamento e sistematização das características estatísticas dos agentes vinculados à temática pesquisada, à evolução e aos tipos de publicações ao longo dos anos. A sua metodologia básica possui três fases sequenciais: (i) identificação; (ii) triagem; e (iii) mapeamento do conhecimento ou resultados da análise. Essa etapa não exige que os artigos sejam lidos integralmente e, portanto, alguns dados qualitativos ou quantitativos podem ser perdidos, porém ela permite avaliar a evolução da pesquisa e seus desdobramentos ao longo dos anos (Zhou *et al.*, 2018; Jiang and Ashworth, 2021).

A **Segunda Etapa** consiste na Revisão Sistemática (RS) dos artigos resultantes da triagem da Primeira Etapa, com foco na identificação e sistematização dos Mod-Fer de PE. Não há um consenso para definição dessa metodologia, porém há critérios a serem atendidos para ser uma RS. Segundo Miljand (2020) deve conter uma descrição clara: (i) do método de pesquisa, que não precisa ser necessariamente abrangente; (ii) do processo de triagem sistêmica, ou seja, conter critérios de inclusão e exclusão predefinidos; e (iii) explicitar a síntese final da RS.

A partir das análises e resultados robustos¹² das duas etapas metodológicas de revisão, propõem-se a responder a duas perguntas: (i) Qual a amplitude dos resultados encontrados nas análises da literatura especializada? E, (ii) Qual a profundidade dos resultados encontrados nas análises da literatura especializada? Por meio das duas respostas é possível analisar e sistematizar informações, premissas, riscos, procedimentos, entraves e gargalos para a elaboração de um PE aos países em desenvolvimento dentro da visão sistêmica de uma integração regional, apresentando o processo global dessa metodologia.

3.1 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

3.1.1 Identificação

As fases do processo de identificação consistem em: (1) seleção da fonte de informação; (2) período estipulado das publicações; (3) Idiomas; (4) Tipos de

¹² A robustez dos resultados pode parecer subjetiva, mas ela está galgada na quantidade e qualidade de informações e dados medidos ou determinados, ou seja, quantidades de dados e resultados comuns, análises e conclusões semelhantes ou com intersecções obtidas em diferentes trabalhos (artigos, teses, dissertações). Esses resultados podem ter diversas naturezas - gargalos, avanços, estado da arte -, que se consolidam para dar um direcionamento e trazer respostas aos objetivos do trabalho. Quanto mais robustos são os resultados, mais ampla e profunda são as análises.

documento; (5) Palavras-chave; (6) Agrupamento e classificação das palavras-chave; e (7) Pesquisa no portal de periódicos.

Seleção da fonte de informação: O levantamento bibliográfico é realizado integralmente no portal de periódico *Web of Science* (WOS) (WOS, 2020b). Este portal possui as bases de dados acadêmicas mais significativas internacionalmente, pois consolida a base de diversos portais como *Scimedirect*, *IEEEExplore*, *Spring Nature*, *Wiley*, MDPI, *Derwent Innovations Index*, KCI (Base de Dados de Periódicos Coreanos), *Russian Science Citation Index*, *SciELO Citation Index* e *Zoological Record*. Porém, nem todas as publicações existentes são indexadas nos bancos de dados, que exclui diversos outros portais, em particular os que indexam periódicos em idioma não inglês. Ressaltando, que há publicações importantes publicadas em outros idiomas, principalmente de países em desenvolvimento, sem acesso a recursos orçamentários para tradução e publicação em *journals* e conferências. Portanto, os critérios estabelecidos nesta revisão não incluem todos os periódicos publicados nesta temática.

Período estipulado das publicações: O intervalo de tempo fixado é “Todos”, compreendendo o período de 1900-2021¹³. Esta pesquisa iniciou em 2018 e foi retroalimentada com novos periódicos publicados nos anos posteriores com limite a fevereiro de 2021. O amplo período tem o intuito de verificar quando a temática pesquisada iniciou e como ela evoluiu ao longo dos anos e a retroalimentação serve para expandir a documentação e verificar novos desdobramentos e correlações com as discussões e resultados desenvolvidos na tese, uma vez que trabalhos publicados no WOS apresentam soluções emergentes do ponto de vista tecnológico, socioeconômico e ambiental, com tendência a estarem na fronteira do conhecimento (Qiu and Liu, 2018).

Idiomas: O idioma fixado é “Todos” para expandir a quantidade de documentos. O portal tem a particularidade de registrar apenas documentos que contenham título, palavras-chave e resumo (*abstract*) em inglês, sem se importar com o idioma do corpo do documento (introdução, metodologia, resultados, conclusão).

¹³ Período vinculado ao ano das publicações dos registros existentes no WoS para a pesquisa realizada nessa tese.

Tipos de documento: Os tipos selecionados são “*Article*” e “*Review*” para garantir a qualidade e validade dos documentos, uma vez que esses tipos passam por processos exaustivos de revisão de pares antes de serem publicados. Os outros tipos são excluídos, como “*Conference*”, “*Meets*” e “*Abstract*”, pois carecem de revisão de pares e geralmente não possuem o conteúdo básico de um trabalho acadêmico (introdução, metodologia, resultados e conclusão) (Souza, 2021), e os tipos “*Book*” e “*Book Chapter*”, pois as informações do banco de dados deste tipo de documento causam divergências (Qiu and Liu, 2018) sendo um fator crítico para a importação de dados e utilização em softwares de análise bibliométrica.

Palavras-chave: A seleção das palavras-chave advém dos documentos (periódicos, relatórios, dissertações e teses) utilizados na elaboração sobre o marco teórico da IEAS, desenvolvido nos Capítulos 0 e 2. A seleção segue o processo de: (i) somatório de vezes em que as palavras-chave aparecem nos documentos; (ii) ranqueamento dos somatórios e análise de Pareto. A partir dos valores quantitativos, as palavras-chave mais recorrentes são selecionadas para compor a base de identificação de periódicos. Além disso, são adicionados todos os países contidos na AS, uma vez que eles são objetos fundamentais neste trabalho e as palavras-chave são traduzidas para o inglês, de modo a ampliar o range da pesquisa e por ser o trivial no portal WOS.

Agrupamento e classificação das palavras-chave: Os agrupamentos são projetados para compor os três eixos principais da pesquisa: geografia, PE e estrutura de rede, ou seja, esses são os três agrupamentos. Para classificar as palavras-chave e introduzi-las nesses agrupamentos são realizados três processos: (i) classificação e separação das palavras em relação aos três eixos da pesquisa; (ii) verificação de aparecimento mútuo das palavras-chave dentro de um mesmo agrupamento, ou seja, número de vezes em que a palavra A aparece no mesmo documento que as palavras B ou C; e (iii) seleção das melhores ranqueadas dentro de um agrupamento.

Pesquisa no portal de periódicos: Com as palavras-chave e agrupamentos definidos, os registros são pesquisados por agrupamento e posteriormente é produzido o registro final unificado.

3.1.2 Triagem

Após a fase de identificação, os registros completos dos periódicos são coletados do portal WOS em formato compatível com arquivos .xls. Como há três agrupamentos, esse processo é realizado três vezes. Então, os três registros coletados passam pela fase de triagem manual, que consiste em: (i) exclusão de registros com informações ausentes, neste caso são excluídos registros sem título, palavras-chave e/ou resumo; (ii) verificação e exclusão de registros repetidos; (iii) verificação se há aderência dos registros ao seu agrupamento, ex. os registros contidos no agrupamento PE abordam o tema? Caso não abordem, eles são excluídos; e (iv) consolidação dos três registros para formação do registro final.

3.1.3 Visualização de domínio

Por fim, a partir do registro final, a visualização do domínio é realizada em duas fases: (i) análise estatística dos registros; e (ii) análise de coocorrência e detecção de explosão (*burst*) da temática.

A **Primeira Fase** é a exploração do status da pesquisa feita pela análise estatística dos registros. A análise é feita por meio dados desagregados contidos em cada registro com o intuito de levantar o período e evolução da quantidade de trabalhos publicados, a área de pesquisa, as linhas de pesquisa, os países e região dos pesquisadores, os principais periódicos, as principais instituições de pesquisas, as fontes de financiamento e, principalmente, se esses registros são utilizados como referência para elaboração e produção de novos trabalhos.

Esta última análise é importante para entender a comunicação acadêmica e a difusão do conhecimento (Chen, 2006) e no caso de registro com mais de um autor, reflete a colaboração entre coautores, além disso, se eles forem de diferentes instituições e contidas em países distintos, exprime que o registro foi desenvolvido numa parceria internacional, o que pode demonstrar uma rede de colaboração entre países e instituições, resultando num possível avanço da fronteira do conhecimento na temática e maior impacto da publicação.

Na **Segunda Fase**: são realizadas análises de palavras-chave, incluindo análise de coocorrência e detecção de *burst*¹⁴. Geralmente, as palavras-chave fornecem um resumo indicativo do conteúdo principal de um periódico e por meio de uma linha do tempo, para localizar o uso de palavras-chave de acordo com suas frequências em anos distintos, é possível monitorar tópicos de pesquisa e tendências emergentes ao longo do tempo (Zhou *et al.*, 2018; Jiang and Ashworth, 2021). Essas visualizações são realizadas utilizando o software *Citespace* (Chen, 2014) em dois momentos: (i) extraíndo as palavras-chave dos registros, separando-as e classificando-as para calcular suas frequências, obtendo como saída a matriz de coocorrência das palavras-chave (Chen, 2006); e (ii) detectando os *bursts* para verificar o aparecimento e o uso intenso de uma palavra-chave num curto intervalo de tempo dentro do período total de análise (Yu and Xu, 2017), indicando tendências emergentes de uma determinada temática (Jiang and Ashworth, 2021), ver Figura 7.

¹⁴ Um *burst* é um mecanismo estatístico para detectar o aparecimento e a frequência de utilização de termos ou palavras-chave num curto intervalo de tempo, ou seja, quanto maior um *burst*, maior é a novidade ou o uso de determinada metodologia ou tecnologia ou linha de pensamento.

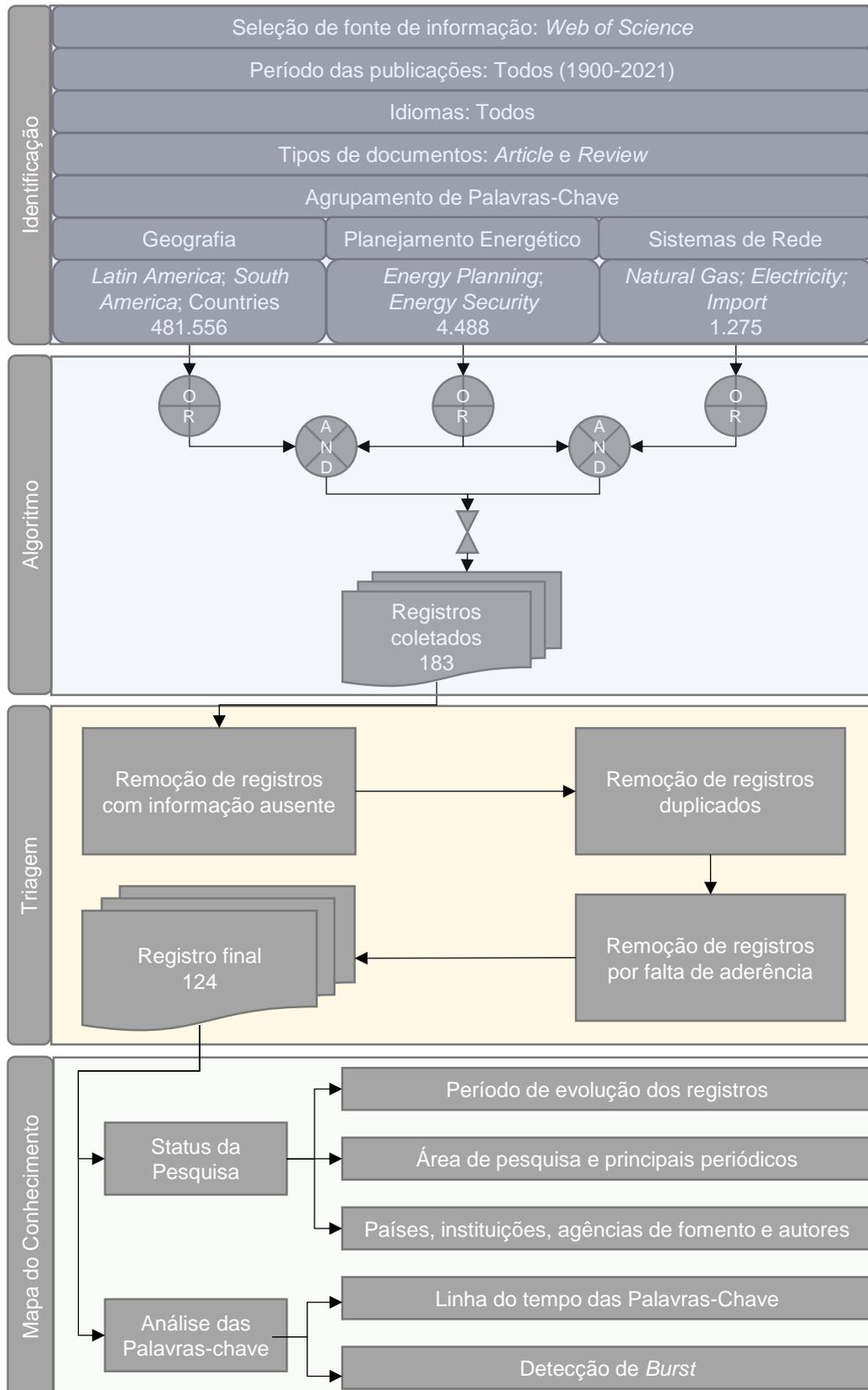


Figura 7. Arranjo esquemático da revisão bibliométrica.

3.2 REVISÃO SISTEMÁTICA

3.2.1 Método de Pesquisa

Os métodos de Revisão Sistemática (RS) são utilizados para sintetizar as pesquisas sobre um determinado tema (Bilotta, Milner and Boyd, 2014) e abarcar as discussões norteadoras que podem impactar nas decisões tomadas com base nessas pesquisas (Wyborn *et al.*, 2018).

MILJAND (2020), elucida que as metodologias de RS são utilizadas para avaliar os efeitos de intervenções, principalmente em saúde, serviço social e no meio ambiente e conclui que a elas podem contribuir para uma compreensão profunda do campo pesquisado, pois sintetiza as perspectivas de aplicação e seus gargalos, tornando-se primordial para o início do desenvolvimento de teorias e soluções mais abrangentes. Em suma, essa metodologia facilita o levantamento, a organização e a análise crítica das evidências existentes na literatura para uma temática definida (Auld *et al.*, 2014).

Neste contexto, o PELP do setor elétrico vem sendo desenvolvido ao longo de décadas, resultando, em alguns casos, na integração da infraestrutura elétrica e gasíferas entre países. Porém, há uma carência de Mod-Fer que reflitam as limitações ambientais e sociais (Relva, 2022), bem como a dimensão política¹⁵ (Oliveira da Silva *et al.*, 2021) na etapa de PE. Sendo esses elementos, os principais inviabilizadores de projetos de IEAS (Udaeta *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2018).

À vista disso uma pergunta norteadora “*Quais os são os Mod-Fer de PE existentes e como eles incorporam a IET?*” é utilizada como partida para a construção da RS, como sugere RELVA *et al.* (2021). O registro final da metodologia de RB é utilizado como referência para a RS. Esses registros passam por um processo de triagem, inclusão ou exclusão, e em seguida a seção de referências bibliográficas dos registros são analisados, o que pode resultar na inclusão de mais documentos (Relva, 2022). Por fim, são realizadas a avaliação e classificação dos Mod-Fer de PELP que se coadunam com as reflexões que suas entradas e saídas podem oferecer (Van Beeck, 1999).

¹⁵ Dentro do conceito de Planejamento Integrado de Recursos desenvolvido por UDAETA (2012).

3.2.2 Processo de Triagem Sistemática

O processo de triagem utilizado nesta RS parte da fase (iv) do processo de triagem da metodologia de RB. A partir desses registros a inclusão e exclusão de documentos seguem passos contínuos (Miljand, 2020):

1º) Leitura dos títulos, os registros considerados potencialmente relevantes são incluídos. Para esclarecer e extrair a abstração, a relevância do título concentra-se em excluir registros fora do escopo das palavras-chave definidas na metodologia de RB.

2º) Leitura dos resumos, os registros considerados potencialmente relevantes (idem primeiro passo) são incluídos.

3º) Obtenção do documento completo de todos os resumos considerados potencialmente relevantes. Caso algum documento não seja obtido ele é sinalizado e o seu registro é descartado.

4º) Avaliação geral dos textos completos, em que apenas documentos contendo introdução, objetivo, metodologia, resultado, conclusão, referências bibliográficas e que discutam modelos ou ferramentas de PELP são incluídos.

5º) Verificação da cobertura geográfica, em que apenas documentos que abordem pelo menos um território nacional são incluídos, ou seja, documentos que abordem apenas o PE de uma área isolada, cidade, província, estado ou subnacional são excluídos.

6º) Exclusão de Mod-Fer que não tenham abrangência multisetorial (setores da economia) e focalizados em geração distribuída, microgeração e avaliação de projetos específicos.

7º) Verificação de recursos energéticos, do lado da oferta e do lado da demanda. Documentos que abordem um único recurso energético (ex.: apenas geração eólica, ou solar, ou termoelétrica, ou eficiência energética, ou gerenciamento do lado da demanda) são excluídos.

8º) Exclusão de Mod-Fer específicos para planejamento da operação, pois se buscam os Mod-Fer utilizados para o planejamento de sistemas e infraestruturas energéticas para um ambiente estratégico e de LP.

9º) Verificação do período do PE, são incluídos apenas documentos com PELP. Embora não haja uma definição padrão de curto prazo (CP), médio prazo (MP) e LP, observa-se que períodos de 5 anos ou menos são tidos de CP, entre 3 e 15 anos de MP e de 10 anos ou mais para o LP (Van Beeck, 1999). No caso do Planejamento Integrado de Recursos Energéticos (PIR), um planejamento de LP é considerado como de 20 a 30 anos, uma vez que, 20 anos é período para o planejamento dos recursos e, 30 anos, para a análise dos efeitos finais desse PE (Udaeta, 1997). Portanto, documentos com PE inferior a 20 anos são descartados.

10º) Verificação das dimensões de PE, documentos, cujos Mod-Fer abordem apenas uma dimensão do PE (técnica-econômica, ambiental, política, social, outras) são excluídos. Essas dimensões são baseadas na estrutura teórica do PIR (Udaeta, 2012).

11º) Verificação dos documentos incluídos, os quais apresentem inconsistência metodológica, de fonte de dados, de resultados ou que não seja possível rastrear a existência da ferramenta utilizada são excluídos.

12º) Consolidação dos documentos finais para avaliação e síntese de resultados.

3.2.3 Modelo de Apresentação e Síntese de Resultados

A apresentação da síntese da RS se dá pelo agrupamento e categorização dos Mod-Fer de PE baseados numa adaptação de Van Beeck (1999) e Relva (2022), consistindo em:

Nomeação e Referência: descrição da Sigla, do nome completo e vinculação da referência bibliográfica raiz do modelo e ferramenta.

Objetivos Gerais: compreende a forma como o futuro é abordado (previsão, extrapolação, *backcasting*¹⁶) e **os Específicos** concentram-se nos aspectos que ele aborda (demanda ou fornecimento de energia, análise ou avaliação de impactos, estrutura modular, estrutura integrada).

¹⁶ Método de planejamento iniciado com a definição do futuro desejável, para depois desenvolver às políticas públicas que definirão o presente, de modo a se alcançar os objetivos definidos para o futuro.

Abordagem Analítica: Esta abordagem compreende três categorias: (i) *top-down*, conhecido como método econômico, é geralmente utilizado para previsão de CP e utilizam histórico de dados agregados para analisar as interações entre o setor de energia e outros setores da economia; (ii) *bottom-up*, chamado de método de engenharia, é utilizado principalmente para a exploração do setor de energia e utiliza amplo intervalo e quantidade de dados desagregados para representar os usos finais de energia e as opções tecnológicas; e (iii) híbrido, como o próprio nome diz, é uma combinação das abordagens *top-down* e *bottom-up* que utiliza dados agregados e desagregados para preencher a lacuna entre os dois métodos anteriores (Hall and Buckley, 2016; Machado *et al.*, 2019).

É interessante frisar que as abordagens tendem a gerar saídas distintas para um mesmo problema, devido à forma como consideram a inserção das tecnologias, a tomada de decisão dos interessados¹⁷ e a operação do sistema ao longo do tempo (Van Beeck, 1999).

Metodologia Implícita: Está contida nos Mod-Fer e incluem: (i) econometria, que utiliza métodos estatísticos para extrapolar o comportamento do passado para prever o futuro; (ii) macroeconomia, que analisa a completude da economia e sua interação com os seus diferentes setores, (iii) equilíbrio econômico, utilizado para analisar como o setor de energia se interrelaciona com os demais setores da economia, (iv) otimização, utilizada para otimizar as decisões de investimento no setor de energia com base nas variáveis e restrições de entrada inseridas; (v) simulação, é utilizado para a análise de cenários baseados na descrição lógica de um sistema; (vi) *backcasting* utiliza consideração de especialista e as tendências necessárias para construir um PE que almeje um futuro desejado, sendo frequentemente utilizado para análise de cenários alternativos, (vii) multicritério, utilizada para inserir dados quantitativos e qualitativos no PE.

Cobertura Geográfica: Compreende o nível territorial que é realizada a análise, sendo um fator preponderante para a seleção e estruturação de um modelo ou ferramenta. Esses níveis podem ser: (i) Global, se refere ao contexto de mundial; (ii) Regional, compreende regiões internacionais (AS, AL, Ásia) e não uma região interna a um país; (iii) Nacional compreende todos os setores contidos no país e

¹⁷ Dentro do conceito de Planejamento Integrado de Recursos desenvolvido por UDAETA (2012).

considera as condições internacionais como um elemento exógeno; (iv) Subnacional se refere às regiões internas de um país; e (v) Projeto que é em nível subnacional com foco em um local específico, porém, pode ter escala de atuação nacional e inclusive internacional.

Os Mod-Fers de nível global, regional e nacional geralmente são do tipo *top-down*, requerendo dados agregados, já os de nível subnacional e projeto geralmente são *bottom-up* e utilizam dados desagregados.

Cobertura Setorial: Consideração dos diferentes tipos de setores da economia. Os Mod-Fers multissetoriais são utilizados em nível regional, nacional e subnacional, focando na interrelação macroeconômica entre os diferentes setores, já os unisetoriais focam apenas em um único setor e não consideram a interrelação macroeconômica entre os diferentes setores.

Horizonte de Tempo: Os Mod-Fers consideram diversos períodos (CP, MP e LP), sua escolha depende da estrutura e dos objetivos definidos, pois os processos econômicos, ambientais, políticos e sociais, ocorrem em escala de tempo diferente.

Requisitos de Dados: Os dados podem ser agregados e desagregados e os formatos requisitados geralmente são do tipo cardinal quantitativo. No caso de ausência ou falta de confiabilidade dos dados, comum em países em desenvolvimento (Relva *et al.*, 2021), é essencial ter a opção de inserção de dados qualitativos ou ordinais.

Dimensão: Verifica se os Mod-Fers consideram a inserção de atributos vinculados às dimensões ambientais, sociais e políticas¹⁸ e, não apenas às trivialmente utilizadas, técnicas e econômicas, na etapa inicial da elaboração do PE.

Interessados e Envolvidos: Verifica se os Mod-Fers consideram a consulta previa de interessados e envolvidos no processo de PE e como ela se insere na tomada de decisão.

Integração Energética: Verifica se os Mod-Fers consideram a importação e exportação de energia de outros países no processo de PE e como elas se inserem na tomada de decisão.

¹⁸ Dentro do definição de dimensões do PIR desenvolvido por UDAETA (2012).

3.3 RESULTADOS DAS REVISÕES

3.3.1 À amplitude

Conforme definido na metodologia de RB, o levantamento bibliográfico é realizado na plataforma WOS, considerando registros do tipo *Article* e *Review* publicados em “Todos” os anos e idiomas disponíveis.

O processo de seleção de palavras-chave encontra um mesmo termo em diferentes idiomas - espanhol, inglês e português. Nesse caso, eles são traduzidos para o idioma inglês antes de serem ranqueados e agrupados. Ex.: Planejamento Energético, em português, e *Planificación Energética*, em espanhol, são traduzidos para “*Energy Planning*”.

Na Tabela 4, é possível verificar os três agrupamentos, as Palavras-Chave selecionadas em inglês, o código e a lógica¹⁹ de pesquisa e, por fim, a quantidade de registros obtidos na plataforma WOS. A lista completa e ranqueada do processo de seleção de palavras-chave pode ser analisada no APÊNDICE C

Após a pesquisa individual, as Palavras-Chave de um mesmo agrupamento são combinadas utilizando o operador Booleano *AND*, para recuperar registros que contenham todas as Palavras-Chave do agrupamento. No caso do agrupamento geográfico, também é utilizado o operador Booleano *OR*, para encontrar registros que contenham ao menos uma das palavras-chave separadas pelo operador. Ex.: *Energy OR (Renewable AND Sustainable)*, encontra registros contendo o termo *Energy* e, também registros contendo ambos os termos *Renewable* e *Sustainable* (WOS, 2020a).

O levantamento bibliográfico consolidado resultou na identificação de 183 registros, sendo 114 do agrupamento “Geografia”, 48 do agrupamento “Planejamento Energético” e 21 do agrupamento “Estrutura de Rede”, ver Tabela 4.

¹⁹A Lógica de pesquisa utiliza diversos operadores presentes na plataforma WOS. As Palavras-Chave são pesquisadas, individualmente, utilizando o rótulo de campo do tipo TS (Tópico), que verifica a existência do termo no título, nas palavras-chaves e no resumo do registro. No caso de Palavras-Chave com dois ou mais termos é utilizado operador de proximidade "" (aspas), para recuperar apenas os registros em que os dois termos estejam juntos, como no caso de “*Energy Planning*”; e o NEAR/X, para recuperar dois termos com um número X máximo de palavras entre eles, como no caso “*Natural Gas*” NEAR/10 import que recuperou os registros onde o termo “*Natural Gas*” aparece com no máximo de 10 palavras de distância do termo import. Além disso, foram utilizados dois operadores de truncamento, o * (asterisco) para recuperar termos com variação de prefixo, sufixo ou radical, como no caso de *Electric**, que recupera os termos *Electric* e *Electricity*; e a ? (interrogação) que representa qualquer carácter em um termo, utilizado em alguns países como *Bras?l* e *Paragua?*, recuperando os termos *Brasil* e *Brazil*, *Paraguai* e *Paraguay* (WOS, 2020a).

Tabela 4. Lógica de pesquisa de registros na plataforma WOS.

Agrupamento	Palavra-chave	Código	Lógica de Pesquisa	Registros
Geografia	<i>Energy Planning; Latin America; South America; Countries¹</i>	#1	TS = ("Energy Planning") AND TIPOS DE DOCUMENTO: (Article OR Review) AND Tempo estipulado = 1900-2021	1.602
		#2	TS = ("Latin America" OR "South America" OR Argentina OR Bolivia OR Bra?il OR Chile OR Col?mbia OR E?uador OR "French Gu?ana" OR Gu?ana OR Paragua? OR Peru OR Suriname OR Urugua? OR Venezuela) AND TIPOS DE DOCUMENTO: (Article OR Review) AND Tempo estipulado = 1900-2021	479.954
		#3	#1 AND #2	114
Planejamento Energético	<i>Energy Planning; Energy Security</i>	#4	(TS = "Energy Security") AND TIPOS DE DOCUMENTO: (Article OR Review) AND Tempo estipulado = 1900-2021	4.488
		#5	#1 AND #4	48
Estrutura de Rede	<i>Natural Gas; Electricity; Import</i>	#6	((TS = ("Natural Gas" NEAR/10 Import) OR TS = ("NG" NEAR/10 Import)))) AND TIPOS DE DOCUMENTO: (Article OR Review) AND Tempo estipulado = 1900-2021	489
		#7	TS = (Electric* NEAR/10 Import) AND TIPOS DE DOCUMENTO: (Article OR Review) AND Tempo estipulado = 1900-2021	786
		#8	#1 AND (#6 OR #7)	21
Totalização dos três agrupamentos				183

¹ *Countries* compreendem: Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Guiana Francesa*, Guiana, Paraguai, Peru, Uruguai, Suriname e Venezuela. *Território ultramarino da República da França.

Após a fase de identificação, os 183 registros completos são exportados²⁰ do portal WOS em formato .xls para início da fase de triagem manual, onde são excluídos: 01 registro com informações ausentes, possui apenas título; 12 registros repetidos, sendo 11 em dois agrupamentos distintos e 01 no mesmo agrupamento; e 46 sem aderência ao agrupamento. Resultando em 59 registros excluídos e 124 pré-selecionados.

Ainda na fase da triagem, verifica-se o idioma e os tipos de documentos dos registros. Em relação ao idioma dos 124 registros, 118 são em inglês, 05 em português e 01 em espanhol. Porém, todos apresentam Título, Palavras-Chave e Resumo em inglês.

²⁰ O portal WOS apresenta a função de exportar os registros identificados na plataforma. Essa exportação é feita por meio da seleção dos registros a serem exportados (mais citados, mais antigos, todos, etc.) e do tipo de arquivo (csv, txt, xls, etc.). Após essas definições, o download do arquivo é efetuado para o diretório indicado. Ressalta-se que o portal WOS permite a exportação de no máximo 500 registros por vez, ou seja, caso haja dois mil registros, é necessário realizar quatro processos de exportação: (1º) do 1 ao 500; (2º) 501 ao 1000; (3º) 1001 ao 1500; e (4º) 1501 ao 2000.

A última triagem é em relação ao documento, em que o do tipo *Article* representa 90% do total (111), e *Review* 10% (13), dos quais dois são classificados tanto em *Article* como em *Early Access*²¹; um em *Article* e *Data Paper*²²; e um em *Article* e *Proceedings Paper*, neste caso, o *Article* foi publicado inicialmente numa conferência e posteriormente selecionado e publicado em um periódico indexado e com revisão de pares, ver Tabela 5.

Tabela 5. Consolidação de tipo de idiomas e documentos dos registros.

Idiomas	Registros	% dos 124
Inglês	118	95%
Português	5	4%
Espanhol	1	1%
Total	124	100%
Tipos de documento	Registros	% dos 124
<i>Article</i>	111	90%
<i>Review</i>	13	10%
<i>Early Access</i>	2	2%
<i>Data Paper</i>	1	1%
<i>Proceedings Paper</i>	1	1%
Total	128	103%

Neste tipo de classificação, é normal o somatório da distribuição de registros ser superior a 100%, pois os registros podem ser classificados simultaneamente em mais de um tipo de documento (Dechy *et al.*, 2004; Babrauskas, 2017).

O APÊNDICE D apresenta a lista completa dos Registros excluídos, tipo de agrupamento e critério de exclusão, ver Tabela 41, e para a lógica de exclusão, ver Tabela 42. Por fim, a análise bibliométrica é feita com base nos 124 registros identificados, triados e selecionados. Os resultados e discussões são apresentados nos subitens a seguir por meio de apresentação gráfica, dados quantitativos e discussões qualitativas.

3.3.1.1 Período e evolução dos registros

A partir da análise dos dados dos 124 registros verificou-se que o primeiro registro publicado é de 1992. Este artigo, pertence ao agrupamento de Estrutura de Rede, utiliza a ferramenta IEA-MARKAL²³ para analisar tecnicamente o sistema

²¹ *Article* disponível na plataforma antes da publicação final no periódico.

²² *Article* curtos focados na análise de dados)

²³ Possui um modelo genérico que adapta os dados de entrada para representar um sistema energético específico em um nível macro, Nacional, até micro, comunidades, para um período de 40 a 50 anos (ETSAP, 2020a)

energético atual de uma comunidade com o objetivo de desenvolver um novo sistema que reduza as emissões de GEE ao longo do tempo.

Os resultados sugerem a implantação de cogeração de energia utilizando UG por incineração de resíduos sólidos urbanos, introdução de geração por térmicas a GN e criação de taxas de emissão de GEE (Johnsson, Björkqvist and Wene, 1992).

Seguindo a sugestão de Jiang (2021), para compreender a evolução da temática²⁴, o período de registros publicados anualmente é dividido em três fases: (i) fase de interesse limitado (1992-2008); (ii) fase de desenvolvimento inicial (2009-2014), e (iii) fase de crescimento rápido (2015-2021), em que se observa uma tendência de crescimento do número de trabalhos publicados anualmente, ver Figura 8.

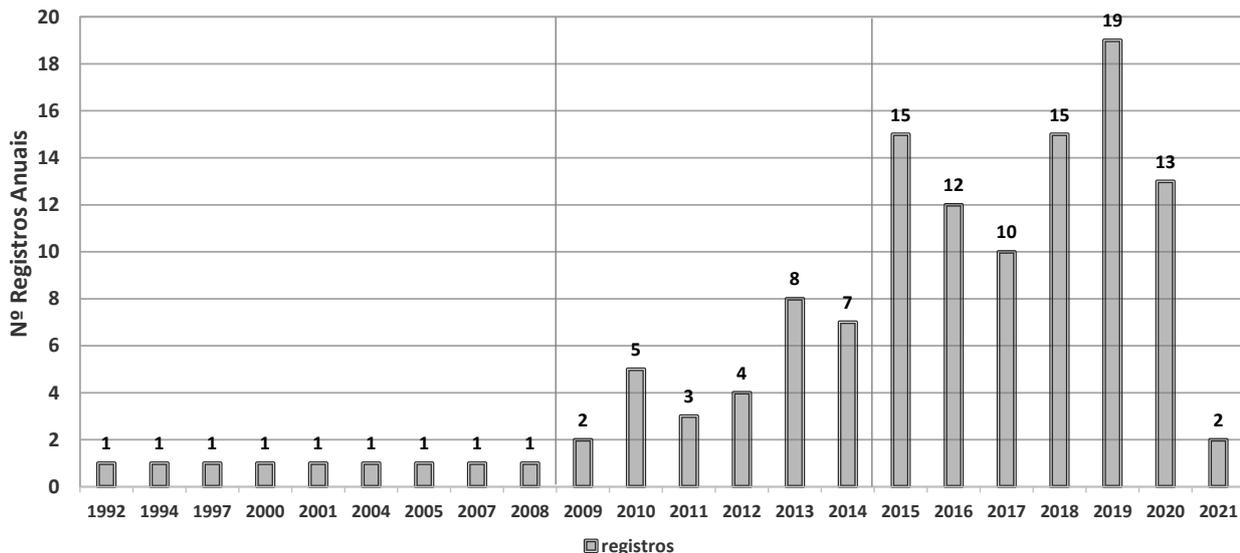


Figura 8. Evolução do número de registros publicados anualmente.

Na fase de interesse limitado (1992-2008) é publicado apenas um artigo anualmente e com intervalos de até três anos, só a partir de 2005, tornam-se recorrentes as publicações anuais. No total, foram publicados 09 artigos no período de 16 anos, quase um a cada dois anos. Esses artigos possuem a característica comum de analisar os sistemas energéticos, sob o ponto de vista das emissões de GEE de LP, utilizando como base, direta e indiretamente, as discussões da RIO 92²⁵

²⁴ Busca por Mod-Fer de planejamento energético existentes e por compreender a forma como elas incorporam o contexto da integração energética latino-americana, com foco nos países da AS.

²⁵ A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Cnumad), realizada em junho de 1992 no Rio de Janeiro, ficou conhecida como Rio-92, Eco-92 ou Cúpula da Terra. Nessa conferência a comunidade política internacional admitiu ser preciso conciliar o desenvolvimento socioeconômico com a utilização dos recursos da natureza, concluindo que se o desenvolvimento de todos os países for pautado no modelo de desenvolvimento dos países ricos, não haverá recursos naturais para todos e sem graves — e irreversíveis — danos ao meio ambiente (Senado Federal, 1992).

e o protocolo de Kyoto²⁶. Além disso, todos os artigos utilizam modelos ou ferramentas para produção de cenários de LP, sendo as principais ferramentas utilizadas a MARKAL, ENPEP²⁷, MIPE²⁸ e IEPM²⁹.

Na fase de interesse inicial (2009-2014) há um aumento substancial do número de artigos publicados anualmente, nesse período de cinco anos foram publicados 29 artigos, aproximadamente seis ao ano com pico em 2013 quando foram publicados 8. Esses artigos utilizam a mesma base da fase anterior, porém, adicionam novos elementos para a elaboração de cenários de PELP, como as questões da dimensão social de bem-estar, saúde, acesso, equidade, percepção pública, em que são aplicados métodos de análise multicritério para inserir as avaliações qualitativas dos interessados e envolvidos e, a partir disso, comparar e avaliar os diferentes cenários obtidos para elaborar políticas energéticas mais aderentes aos anseios e à realidade geográfica. As principais ferramentas utilizadas nesses artigos são a MARKAL, MESSAGE³⁰, EnergyPLAN³¹, TIMES³² e LEAP³³, geralmente integrados ao método de análise hierárquica de processo (AHP).

Na fase de crescimento rápido (2015-2021), as pesquisas de PELP considerando aspectos ambientais e sociais, tornam-se *mainstream*, no período de seis³⁴ anos, foram publicados 86 artigos, mais de 14 ao ano. Em 2019 ocorre o pico de publicações, no qual são publicados 19 artigos, a mesma quantidade de artigos publicados entre 1992-2011. Nessa terceira fase, apareceram novas ferramentas,

²⁶ O Protocolo de Quioto operacionaliza a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima ao comprometer os países industrializados e as economias em transição a limitar e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) de acordo com as metas individuais acordadas. A própria Convenção apenas pede a esses países que adotem políticas e medidas de mitigação e que apresentem relatórios periódicos (UNFCCC, 1997).

²⁷ O ENPEP (Energy and Power Evaluation Program) foi desenvolvido pela CEEESA com o apoio do Departamento de Energia dos EUA (DOE). O ENPEP-BALANCE permite que os usuários avaliem os sistemas energéticos, do lado da oferta e da demanda, e seus impactos ambientais para diferentes estratégias (CEEESA, 2020).

²⁸ O MIPE (Modelo Integrado de Planejamento Energético) é um modelo de previsão que utiliza entradas do tipo técnico-econômica para simular a demanda de diferentes setores (Tolmasquim and Szklo, 2000).

²⁹ O IEPM (Integrated Energy Planning Model) analisa o uso final de energia e os impactos ambientais a partir de métricas-chave, como custos de serviços públicos, emissões de GEE, capacidade de endividamento etc. (MSU, 2020).

³⁰ O MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact) é um modelo de otimização de engenharia de sistemas usado para o planejamento de sistemas de energia de médio a longo prazo, analisa as políticas de mudanças climáticas e desenvolve cenários para regiões nacionais ou globais (MESSAGE, 2020).

³¹ O EnergyPLAN (Advanced energy system analysis computer model) é uma ferramenta que simula a operação dos sistemas nacionais de energia, de hora em hora, incluindo os setores de eletricidade, aquecimento, refrigeração, indústria e transporte (EnergyPlan, 2020).

³² O TIMES (Integrated MARKAL-EFOM System) desenvolvido para produzir cenários de energia para conduzir análises energéticas e ambientais combinando duas abordagens diferentes e complementares: uma abordagem de engenharia técnica e uma abordagem econômica (ETSAP, 2020b).

³³ O LEAP (Low Emissions Analysis Platform) é uma ferramenta de modelagem integrada e baseada em cenários e pode ser usada para rastrear o consumo de energia, a produção e a extração de recursos em todos os setores de uma economia. Ele pode ser usado para contabilizar fontes e sumidouros de emissão de gases de efeito estufa (GEE) do setor de energia e do setor não energético (LEAP, 2020).

³⁴ Considerando os dois primeiros meses de 2021.

porém ficam evidentes a consolidação e o uso amplo das ferramentas LEAP e TIMES para a elaboração dos cenários de PELP. Em relação a questão ambiental e social, novos indicadores e metas de desenvolvimento são inseridos, via análise multicritério, para a elaboração dos cenários. Essas metas são embasadas principalmente no ODS³⁵ e nos NDCs³⁶. Outra característica desses registros, é o aparecimento de artigos de revisão e sistematização das ferramentas de modelagem por tipo de uso, dados utilizados, dimensões de análise, geografia e estudos de caso realizados. Este tipo de artigo surge devido ao aumento do interesse pela temática e pelo aumento dos artigos publicados e ferramentas desenvolvidas.

3.3.1.2 Área de pesquisa e principais periódicos

Posto que um mesmo registro pode ser classificado em mais de uma área de pesquisa. Os 124 registros são classificados em 25 áreas de pesquisa no portal WOS, dos quais 69,4% (86 em número absoluto) são da área de *Energy Fuels*, seguido por *Environmental Sciences Ecology* 35,5% (44), *Science Technology Other Topics* 23,4% (29), *Business Economics* 22,6% (25) e *Engineering* 20,2% (25), *Thermodynamics* 10,5% (13), *Agriculture* 4% (05), *Computer Science* 3,2% (04) e *Public Administration* 2,4% (03), ver Tabela 6. Outras cinco áreas apresentam 1.6% (02) cada e onze 0.8% (01) cada.

Tabela 6. Área de pesquisa dos 124 registros.

Áreas de pesquisa	Registros	% of 124
ENERGY FUELS	86	69,4%
ENVIRONMENTAL SCIENCES ECOLOGY	44	35,5%
SCIENCE TECHNOLOGY OTHER TOPICS	29	23,4%
BUSINESS ECONOMICS	28	22,6%
ENGINEERING	25	20,2%
THERMODYNAMICS	13	10,5%
AGRICULTURE	5	4,0%
COMPUTER SCIENCE	4	3,2%
PUBLIC ADMINISTRATION	3	2,4%

Essa avaliação demonstra que os trabalhos são produzidos principalmente por pesquisadores vinculados à área de ciências exatas e mais especificamente das

³⁵ O ODS (Objetivos de Desenvolvimento do Milênio) das Nações Unidas compreende 17 objetivos e 169 metas. Os 193 Estados membros da ONU comprometem-se a adotar a chamada Agenda Pós-2015 para combater a pobreza, fome, doenças, analfabetismo, degradação ambiental e discriminação contra as mulheres. Os ODM, derivados desta Declaração, têm metas e indicadores específicos (ONU, 2020).

³⁶ Os NDCs (Nationally determined contributions) são o cerne do Acordo de Paris eles incorporam os esforços de cada país para reduzir as emissões nacionais e se adaptar aos impactos das mudanças climáticas. O Acordo de Paris (Artigo 4, parágrafo 2) exige que cada Parte delineie e comunique suas ações climáticas pós-2020, conhecidas como seus NDCs. As Partes devem buscar medidas de mitigação domésticas, com o objetivo de alcançar os objetivos de tais contribuições (UNFCCC, 2020).

engenharias, ou seja, os trabalhos possuem vieses técnicos e ambientais sobre as lentes das Engenharias. Evidenciados pelas duas principais áreas de pesquisa, *Energy Fuels* e *Environmental Sciences Ecology*, cujas pesquisas se centram nas discussões do uso de recursos energéticos, renováveis ou não, e a suas relações com o meio ambiente.

Os 124 registros estão publicados em 55 periódicos com revisão de pares, desses, 51 são em idioma inglês, 02, em português e, 02, em espanhol. Na Tabela 7, estão listados os periódicos com mais de um registro, nela também são possíveis verificar o fator de impacto e a editora desses periódicos.

Tabela 7. Lista dos periódicos com mais de um registro.

Periódico	Registros	% dos 124	Fator de Impacto	Editora
Energy Policy	25	20.2%	5,042	Elsevier
Energy	12	9.7%	6,082	Elsevier
Renewable and Sustainable Energy Review	10	8.1%	12,110	Elsevier
Applied Energy	7	5.6%	8,848	Elsevier
Energies	6	4.8%	2,702	MDPI
Journal of Cleaner Production	4	3.2%	7,246	Elsevier
Energy Sources Part B: Economics Planning and Policy	3	2.4%	1,758	Taylor
Engenharia Agrícola	3	2.4%	0,603	SBEA
Biomass & Bioenergy	2	1.6%	3,551	Elsevier
Energy and Buildings	2	1.6%	4,867	Elsevier
IEEE Latin America Transactions	2	1.6%	0,782	IEEE
Journal of Renewable and Sustainable Energy	2	1.6%	1,575	AIP Publishing
JSDEWES	2	1.6%	-	SDEWES Centre
Nature Energy	2	1.6%	54,000	Nature
Renewable Energy	2	1.6%	6,274	Elsevier

O periódico *Energy Policy* (fator de impacto IF = 5,042) é o mais notório, com 25 registros (20,2% do total), mais que o dobro do segundo, que discute, principalmente, o impacto do PE e das emissões de carbono em política energética nacional. O periódico *Energy* (IF = 6,082) vem em seguida com 12 registros (9,7%) que desenvolvem e avaliam o PELP tanto em nível nacional quanto em nível local, por meio da utilização de Mod-Fer de análise multicritério.

O terceiro é o periódico *Renewable and Sustainable Energy Review* (IF = 12,110), com 10 registros (8,1%), que abordam a questão do PE sob um ponto de vista teórico e fundamentado em metodologias de revisões bibliográficas. Na

sequência, vêm os periódicos *Applied Energy* (07; 5,6%), *Energies* (06; 4,8%) e *Journal of Cleaner Production* (04; 3,2%).

Destacam-se dois registros publicados no periódico *Nature Energy*, o qual tem o maior IF (54,000) entre os períodos desta revisão e também para a área de pesquisa vinculada à Energia e às Engenharias IV (Qualis, 2021).

3.3.1.3 Região, países, instituições, agências de financiamento e autores

Os 124 registros são produzidos por pesquisadores de instituições vinculadas a 45 países de cinco continentes³⁷. Desses países, 22 estão na região da Europa, 12 na Ásia, seis na AS, dois na África e na América do Norte (AN) e um na Oceania. Os países da região da Europa apresentam o maior número de registros (79) presentes em 63,7% do total, seguido por AS (62 ou 50,0%), AN (28 ou 22,6%), Ásia (19 ou 15,3%), Oceania (03 e 2,4%) e África (02 e 1,6%), ver Tabela 8.

Tabela 8. Consolidação dos registros por região.

Região	Total de Países	% dos 45	Registros	% dos 124
África	2	4.4%	2	1.6%
América do Norte	2	4.4%	28	22.6%
América do Sul	6	13.3%	62	50.0%
Ásia	12	26.7%	19	15.3%
Europa	22	48.9%	79	63.7%
Oceania	1	2.2%	3	2.4%
Total ¹	45	-	124	-

¹ Um registro (0,8%) não contém dados de campo analisado.

O Brasil tem o maior número de registros (45) presente em 36% dos 124, seguido por Canadá e EUA, com 14 registros cada, Inglaterra 13 e Espanha 10, ver Tabela 9. Outros países da AS aparecem na lista, como Colômbia com 07 registros, o Chile e o Equador, com 04 registros cada, e Bolívia e Paraguai, com um registro cada. Após o Brasil, os países da AN e Europeus são os que apresentam a maior quantidade de registros. Essa característica demonstra forte colaboração entre os autores e instituições dessas duas regiões com os da região da AS; são os principais destinos para intercâmbio técnico-científico dos pesquisadores da AS; e pode haver tendência de adaptação de soluções e modelos dessas regiões para a região da AS.

³⁷ Pode ter mais de um autor, vinculado a mais de uma instituição e de países distintos, é esperado que o total de registros vinculados aos países e a instituições seja superior ao total de registros selecionados.

Tabela 9. Lista dos 14 países com maior número de registros.

Países	Região	Registro	% dos 124
Brasil	América do Sul	45	36%
Canadá	América do Norte	14	11%
EUA	América do Norte	14	11%
Inglaterra	Europa	13	10%
Espanha	Europa	10	8%
Alemanha	Europa	8	6%
Colômbia	América do Sul	7	6%
Itália	Europa	7	6%
Portugal	Europa	5	4%
Áustria	Europa	4	3%
Chile	América do Sul	4	3%
Equador	América do Sul	4	3%
Índia	Ásia	4	3%
China	Ásia	4	3%

Analisando a rede de nós de colaboração entre pesquisadores por país, ver Figura 9 (a), observa-se uma variedade de tamanhos de nós, com uma rede bem definida formada por 112 vínculos (linhas amarelas), de variados tamanhos atrelados a 45 nós, círculos amarelos e rosas bem definidos, numa proporção de 2,5 redes por círculo.

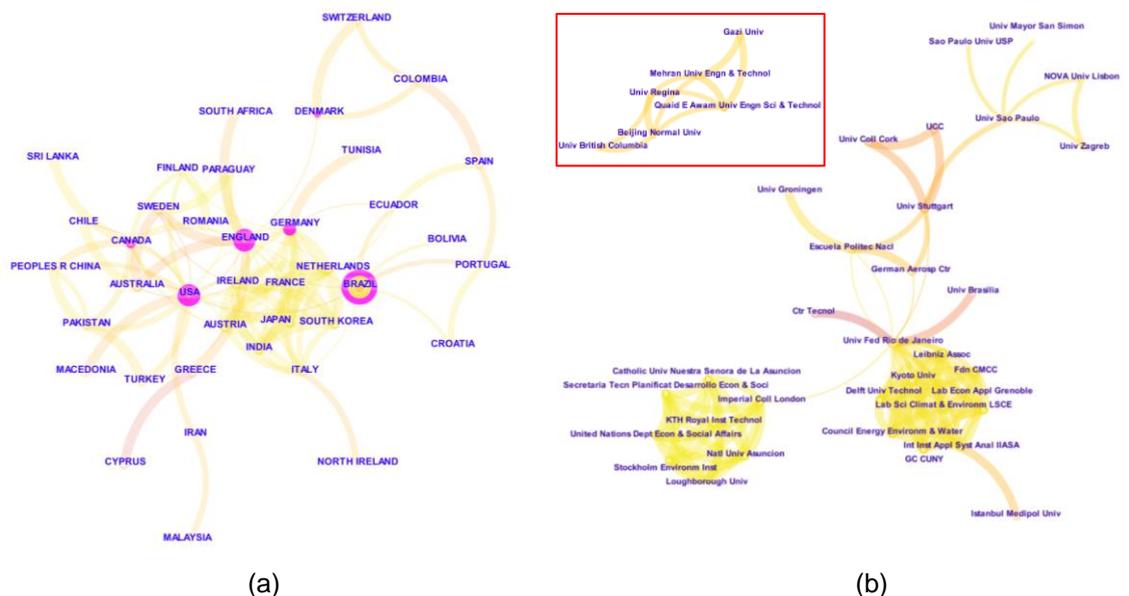


Figura 9. Mapas dos nós e redes de colaboração por (a) países e (b) instituições.

Fonte: *Software CiteSpace*.

Esses círculos representam os países, quanto maior o diâmetro, maior a quantidade de registros com cocitação. Fica claro que os países centrais da rede de nós apresentam a maior densidade de vínculos e, por sua vez, os maiores diâmetros

de círculo. Outra evidência é que os países em desenvolvimento tendem a ficar na periferia da rede de nós, deixando claro que esses países carecem de uma produção científica e de ferramentas e métodos adaptados à realidade da região (Relva *et al.*, 2021).

Sobre a qualidade da rede de nós, as métricas estruturais (Chen, Ibekwe-SanJuan and Hou, 2010) demonstram que a maior centralidade de intermediações é dos EUA, com valor de 20³⁸, ou seja, os seus registros são intensamente utilizados como referência para outros trabalhos na rede. A rede como um todo tem modularidade³⁹, $Q=0,4124$, e Silhueta⁴⁰, $S=0,8763$, demonstrando cocitação entre os trabalhos das diferentes regiões, e que as redes de *clusters* são bem estruturadas para cada região.

Quanto às instituições, dos 124 registros, 123 estão distribuídos em 234 instituições diferentes e apenas 01 (0,8%) não contém dado de campo, por isso não é classificado. Essas instituições incluem universidades, institutos de pesquisas, empresas públicas, empresas privadas e organizações não governamentais. O número de instituições é 88,7% superior ao total de registros, reforçando a grande colaboração de pesquisadores de diferentes instituições. Isso também sugere que as pesquisas sobre PE nos países da AS são indissociáveis de instituições internacionais, uma vez que das 14 Instituições com maior número de registros, 33 ou 26,6% dos 124 registros estão vinculados a pesquisadores de instituições europeias ou do Canadá, enquanto 24 ou 19,4% dos registros são vinculados a pesquisadores de instituições da região da AS, ver Tabela 10.

³⁸ Centralidade de intermediação, varia de 0 a 100 ou mais, mede a extensão que um nó está no caminho que conecta outros nós arbitrários da rede. Altos valores identificam publicações científicas potencialmente revolucionárias (Chen, Ibekwe-SanJuan and Hou, 2010).

³⁹ Modularidade (Q), varia de 0 a 1, mede até que ponto uma rede pode ser dividida em blocos independentes. Baixo valor de Q sugere que a rede não pode ser reduzida a clusters com limites claros, enquanto um alto Q pode implicar uma rede bem estruturada.

⁴⁰ Silhueta (S), varia de -1 a 1, estima a incerteza envolvida na identificação da natureza de um cluster. O valor de 01 representa uma separação perfeita de um clusters a outros.

Tabela 10. Lista das 14 instituições com maior número de registros.

Organizações	Região	País	Registros	% dos 124
Universidade Federal do Rio de Janeiro	América do Sul	Brasil	11	8.9%
University of London	Europa	Inglaterra	5	4.0%
Imperial College of London	Europa	Inglaterra	4	3.2%
Universidade de São Paulo	América do Sul	Brasil	4	3.2%
University College London	Europa	Inglaterra	4	3.2%
University of British Columbia	América do Norte	Canadá	4	3.2%
University of Waterloo	América do Norte	Canadá	4	3.2%
Escuela Politécnica Nacional Ecuador	América do Sul	Equador	3	2.4%
International Institute for Applied Systems Analysis IIASA	Europa	Áustria	3	2.4%
Simon Fraser University	América do Norte	Canadá	3	2.4%
Universidad Nacional de Colombia	América do Sul	Colômbia	3	2.4%
Universidade do Porto	Europa	Portugal	3	2.4%
Universidade Estadual de Campinas	América do Sul	Brasil	3	2.4%
University of Stuttgart	Europa	Alemanha	3	2.4%

As instituições de fora da AS que mais contribuem com a temática do PE para a AS são as universidades inglesas e canadenses, como as inglesas *University of London*, tendo copublicado cinco registros (4% dos 124), *Imperial College of London* e *University College of London*, com 04 registros cada, e as canadenses *University of British Columbia* e *University of Waterloo*, também com 04 cada. Outros institutos extra AS são *International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA), da Áustria, *Simon Fraser University*, do Canadá, *Universidade do Porto*, de Portugal, e *University of Stuttgart*, da Alemanha, com 03 registros cada.

Em relação à região da AS, a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) tem a maior quantidade de registro, 11 ou 8,9% dos 124, mais que o dobro da segunda maior instituição, *University of London*, seguida pela Universidade de São Paulo (USP), com 04 registros (3,2%). Outras instituições da região com pelo menos 03 registros (2,4%) são a *Escuela Politécnica Nacional Ecuador*, *Universidad Nacional de Colombia* e a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). A partir da leitura dos resumos dos registros, verifica-se que a colaboração internacional se dá principalmente para o desenvolvimento de modelagens de PE, considerando a questão das emissões de carbono e o nexos água e energia. Outra linha de pesquisa recorrente na cooperação internacional é pela análise de PE, considerando recursos renováveis intermitentes em países com baixo índice em desenvolvimento (IDH<5,0).

Sobre a rede de nós de colaboração de pesquisadores por instituição, ver Figura 9 (b), ela apresenta 222 vínculos (linhas amarelas e laranjas) de variados tamanhos atrelados a 190 nós, numa proporção de 1,55 redes por nó. Há uma evidente segregação da rede, que se mostra bem estruturada, $Q=0,9013$, e com clara separação entre os diferentes *clusters*, $S=0,9909$. É possível verificar que há *clusters* formados principalmente por instituições europeias e latino-americanas, com baixa interligação entre elas. Há também a formação de um *cluster* formado entre instituições canadenses e, principalmente, asiáticas sem conexão com outros *clusters*, ver *clusters* destacados num quadrado vermelho na Figura 9 (b). Em relação à centralidade dos *clusters*, a maior é da UFRJ (15), que produz os artigos potencialmente de maior impacto na área pesquisada, sugerindo que são resultado de trabalho conjunto de uma série de pesquisadores de distintas instituições. Além disso, os artigos dessa instituição são os mais citados (10), 2,5 vezes maior que a segunda instituição (USP).

Quanto às Agências de Financiamento, foram encontradas 143 agências, sendo que 49 não continham dados para este campo, ou seja, há 143 agências de financiamento para 75 registros. Esse dado desmontra que há quase duas agências de financiando para um único registro ao mesmo tempo que outros 49 não apresentam fonte de financiamento evidente.

Das 13 principais agências, 06 estão na AS, mais especificamente no Brasil, que conta com as duas principais, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), em primeiro e segundo lugar, respectivamente, com 12 registros (9,7% dos 124) cada uma, e outras 04 agências com 02 registros cada (1,6%). Assim como ocorre com as instituições de pesquisa, as principais agências arreda a AS estão na AN ou Europa, porém, aparece uma agência chinesa (*National Natural Science Foundation of China - NSFC*), em terceiro lugar, com 04 registros (3,2%), em quarta e quinta posição estão uma agência do Canadá (*Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada - NSERC*) e outra do Reino Unido (*UK Research Innovation - UKRI*), também com 04 registros cada, ver Tabela 11.

Tabela 11. Lista das 13 agências de financiamento com maior participação nos registros.

Organizações - Consolidada	Região	País	Registro	% of 124
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)	América do Sul	Brasil	12	9.7%
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ)	América do Sul	Brasil	12	9.7%
National Natural Science Foundation of China (NSFC)	Ásia	China	4	3.2%
Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC)	América do Norte	Canadá	4	3.2%
UK Research Innovation (UKRI)	Europa	Reino Unido	4	3.2%
European Commission	Europa	-	3	2.4%
National Science Foundation (NSF)	América do Norte	EUA	3	2.4%
Carlos Chagas Filho Foundation for Research support of the State of Rio de Janeiro (FAPERJ)	América do Sul	Brasil	2	1.6%
Engineering Physical Sciences Research Council (EPSRC)	Europa	Reino Unido	2	1.6%
Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)	América do Sul	Brasil	2	1.6%
Minas Gerais State Research Foundation (FAPEMIG)	América do Sul	Brasil	2	1.6%
R&D Program of the Brazilian Electricity Regulatory Agency ANEEL	América do Sul	Brasil	2	1.6%
Spanish Government	Europa	Espanha	2	1.6%

Em relação aos tipos de agência, há uma clara evidência de que as estatais são as principais financiadoras das pesquisas, superior a 82%, e se somado às agências não governamentais (do tipo fundação) esse número é superior a 97%. Apenas seis registros estão vinculados a empresas privadas, sendo que cada uma delas financiou uma pesquisa cada.

Esses dados sugerem que mesmo que haja financiamento nacional, principalmente público, para as pesquisas nos países da AS, a cooperação entre as instituições internacionais de diferentes países é recorrente e se mostra importante, caso contrário as pesquisas seriam realizadas com baixa aderência internacional. Outro ponto que se deve levantar, é que em geral, as pesquisas são feitas com base em desenvolvimentos internacionais com aplicação de estudos de casos voltados para a região da AS, tanto em nível regional, quanto nacional e local.

A análise de dados dos 124 registros encontrou 438 autores, aproximadamente quatro autores para cada registro, sendo que apenas 05 possuem um único autor. Um recorte dos 18 autores com maior número de registro demonstra que 50% estão vinculados a instituições brasileiras, em que a Universidade Federal do Rio de Janeiro

(UFRJ) é a principal instituição, com 05 autores, e a segunda é a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC Rio) com 03 autores empatada com a *University of British Columbia*, do Canadá, ver Tabela 12.

Tabela 12. Lista dos 18 autores presentes em mais de um registro.

Autores	Instituição	País	Registros	% of 124
Schaeffer R	Universidade Federal do Rio de Janeiro	Brasil	6	4.8%
Szklo A	Universidade Federal do Rio de Janeiro	Brasil	6	4.8%
Oliveira FLC	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro	Brasil	4	3.2%
Souza RC	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro	Brasil	4	3.2%
de Lucena AFP	Universidade Federal do Rio de Janeiro	Brasil	4	3.2%
Hewage K	<i>University of British Columbia</i>	Canadá	3	2.4%
Rochedo P	Universidade Federal do Rio de Janeiro	Brasil	3	2.4%
Sadiq R	<i>University of British Columbia</i>	Canadá	3	2.4%
Alves AC	Universidade Estadual da Paraíba	Brasil	2	1.6%
Duic N	<i>University of Zagreb</i>	Croácia	2	1.6%
Fahl U	<i>University of Stuttgart</i>	Alemanha	2	1.6%
Ferrer-Marti L	<i>Universitat Politècnica de Catalunya</i>	Espanha	2	1.6%
Howells M	<i>KTH Royal Institute of Technology</i>	Suécia	2	1.6%
Karunathilake H	University of British Columbia	Canadá	2	1.6%
Macaira PM	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro	Brasil	2	1.6%
Mirjat NH	<i>Mehran University of Engineering & Technology</i>	Paquistão	2	1.6%
Silva C	Universidade Técnica de Lisboa	Portugal	2	1.6%
Soria R	Universidade Federal do Rio de Janeiro e <i>Escuela Politécnica Nacional Ecuador</i>	Brasil e Equador	2	1.6%

Os dois autores com mais registros são o Schaeffer R. e Szklo A., ambos da UFRJ e com 06 registros. Numa análise detalhada verifica-se que eles são coautores. Em seguida, aparecem Oliveira FLC e Souza RC da PUC Rio e de Lucena ADP da UFRJ, os três com 04 registros cada. Autores de instituições fora AS aparecem na sequência com Hewage K. e Sadiq R. com 03 registros cada e ambos da *University of British Columbia*. Há um único autor de país da AS, excluindo o Brasil, o Soria R. da *Escuela Politécnica Nacional* do Equador com 02 registros, porém ele também está vinculado à UFRJ.

Esses autores são homens e desenvolvem pesquisas em colaboração com outros autores. No caso dos autores de instituições brasileiras, os registros mostram que as colaborações são majoritariamente entre pesquisadores da mesma instituição, já os autores de outras regiões os registros mostram que há uma intensa colaboração entre diferentes regiões contidas em diferentes países, demonstrando redes internacionais vinculadas à temática analisada.

3.3.1.4 Palavras-chave - clusterização e burst

As palavras-chave com maior número de citações são *Energy Planning*, com 34 citações, seguida por *Renewable Energy* (25), *System* (19), *model* (14), *Climate Change* (12) e *Generation*, *Brazil*, *Energy*, *Technology* com 09 citações cada, ver Tabela 10.

Esses termos são os principais nós da rede, representados na Figura 10, e possuem alto valor de centralidade, ou seja, identificam termos potencialmente revolucionárias dentro da temática pesquisada. No caso de *Energy Planning*, a centralidade é de 103, *Renewable Energy* 86 e *System* 76.

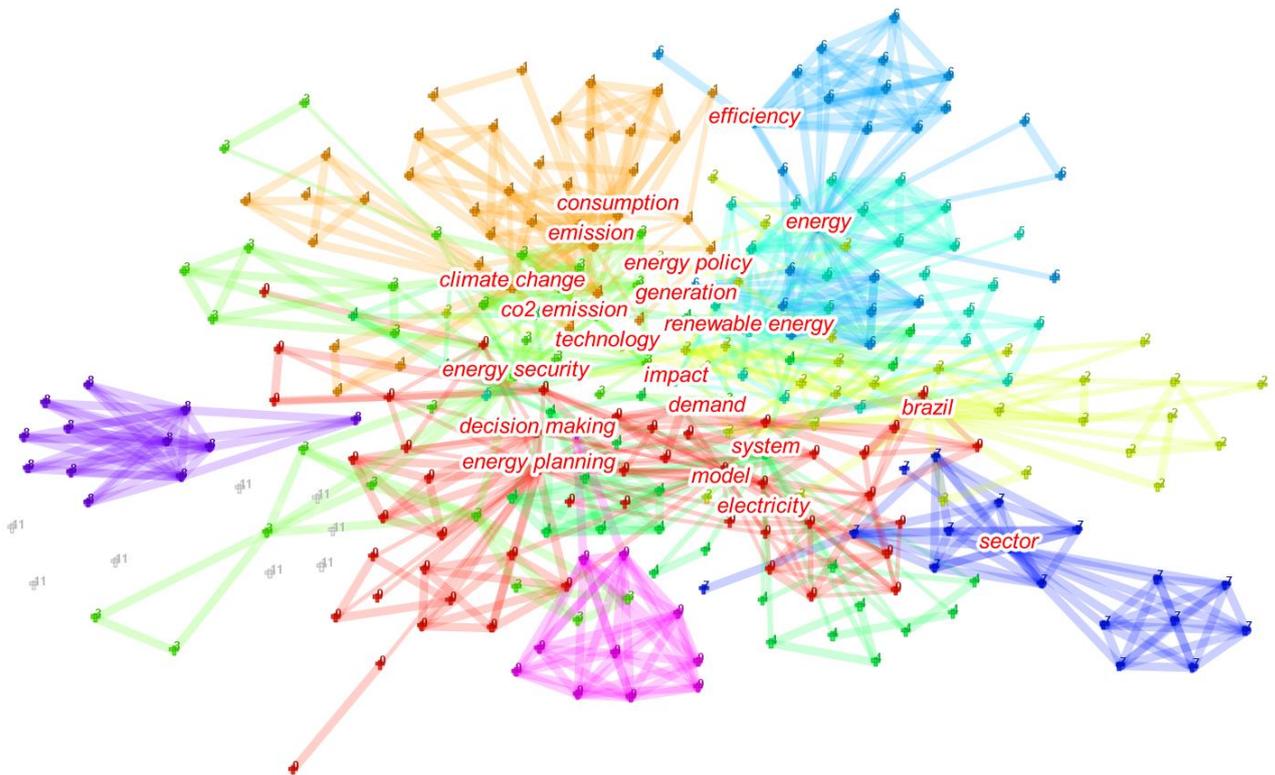


Figura 10. Mapa da rede de nós de palavras-chave e seus principais termos e vínculos.

Fonte: Software CiteSpace..

No centro da rede, estão os principais termos utilizados como base em pesquisas sobre energia e PE - *Renewable Energy*, *Technology* e *Impact*. À medida que se deslocam para a periferia da rede, os termos tornam-se mais específicos como *Brazil* e *Sector*, o que possivelmente tem relação com estudos de casos para regiões específicas e com usos finais da energia.

Essa rede de nós é formada por 1.250 vínculos conectados a 322 nós, uma proporção de 3,8 vínculos por nó, e está dividida em 11 *clusters* de cocitação. Esses *clusters* são rotulados pelos termos de índice de seus próprios citadores.

O maior *cluster* #0 tem 49 membros e silhueta $S=0.821$, os principais rótulos de palavras-chave são *Hierarchical Methodology* e *Energy Planning*. A citação mais ativa nesse *cluster* é o artigo Domenech (2015) com *Global Citation Score* (GCS) igual a 12. O artigo desenvolve uma metodologia de análise hierárquica para eletrificação de comunidades isoladas utilizando as dimensões técnicas e sociais.

O segundo *cluster* #1 é formado por 38 membros e silhueta $S=0,801$, seus principais rótulos são *Emissions Forecast* e *Energy* e a citação mais ativa é Rout *et al.*, (2011) com $GSC=8$, que discute a projeção da geração de energia e sua relação com emissões de GEE no LP.

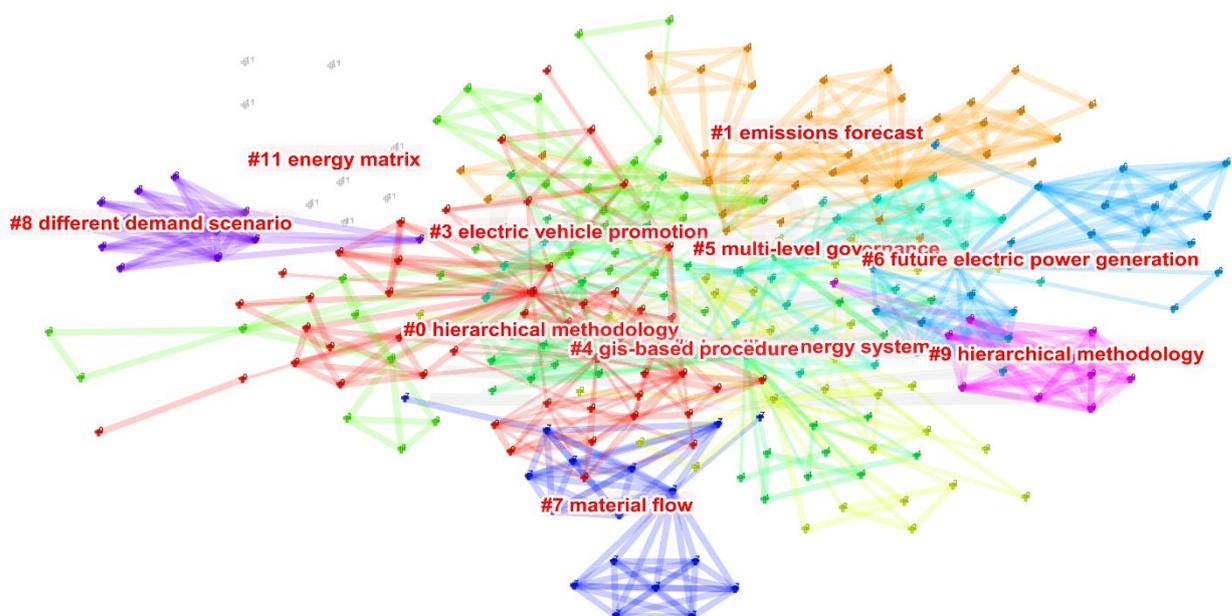
Os dois primeiros *clusters* demonstram que a tendência dos artigos é ir além do tradicional modelo de PELP, que considera apenas aspectos técnicos e econômicos, pois desenvolve modelagens de PELP, considerando como elementos de entradas e saídas de natureza ambiental e social - emissões de GEE e participação de agentes envolvidos e interessados no processo. Os outros 09 *clusters* apresentam $S \geq 0,8$, ver Tabela 13, demonstrando que são estatisticamente estruturados. Essa constatação fica evidente pela visualização da Figura 11⁴¹ e com as métricas estruturais gerais da rede de nós, que apresentam modularidade $Q=0,6288$, silhueta $S=0,8538$ e média harmônica $(Q, S)=0,7242$ ⁴².

⁴¹ Elaborado no *Software CiteSpace*.

⁴² Varia de 0 a 1, quanto mais próximo de um os cluster são melhor definidos e com clara separação.

Tabela 13. Lista dos 11 *clusters* identificados na rede de palavras-chave.

ClusterID	Tamanho	Silhuete	Etiqueta (TFIDF)	Etiqueta (LLR)	Ano médio
#0	49	0.821	Energy planning	Hierarchical Methodology	2013
#1	38	0.801	Energy	Emissions Forecast	2012
#2	35	0.819	Combined energy systems modelling	Brazilian Energy System	2016
#3	32	0.815	Climate change	Electric Vehicle Promotion	2016
#4	29	0,800	Macedonian energy sector development	GIS-based Procedure	2013
#5	25	0,897	Regional analysis	Future electric Power generation	2015
#6	25	0.898	Actor-oriented approach	Multi-level governance	2012
#7	17	0,934	Iron ore and steel production trends and material flows	Material Flow	2011
#8	12	0,995	Implication to the electricity system of Paraguay of different demand scenarios and export prices to Brazil	Different Demand scenario	2020
#9	11	0,979	-	Hierarchical Methodology	2011
#10	08	0,977	Benefits of natural gas introduction	Energy Matrix	2008

Figura 11. Mapa dos 11 *clusters* de palavras-chave.

A Figura 12 apresenta a evolução da temática do PELP na AS, por meio de uma linha do tempo de 1992 a 2021 de palavras-chave com alta frequência de utilização. Cada nó representa uma palavra-chave, e quanto maior o seu tamanho,

maior é a sua frequência de uso. Os nós com maiores frequências estão destacados com um círculo e, logo abaixo, o seu termo está destacado com um retângulo vermelho. As linhas que interligam os nós têm a mesma cor do nome do seu *cluster*. Na extremidade direita da figura estão os *clusters* numerados, quanto menor o número do seu ID, maior o número de palavras-chave que ele possui. As palavras-chave na mesma linha horizontal compartilham o mesmo tópico de pesquisa, ou seja, palavras-chave na primeira linha horizontal estão vinculadas à pesquisa de #0 *Hierarchical methodology* e as palavras-chave entre duas linhas horizontais estão associadas à linha horizontal superior, ou seja, as palavras-chave listadas entre #1 *emission forecast* e #2 *Brazilian energy system* referem-se à linha #1 *emission forecast*. As linhas verticais tracejadas em azul separam as três fases de desenvolvimento da temática: (i) fase de interesse limitado (1992-2008); (ii) fase de desenvolvimento inicial (2009-2014), e (iii) fase de crescimento rápido (2015-2021).

A palavra-chave com a maior frequência de utilização é o termo *Energy Planning* (34), vinculado à Fase I. Ela apresenta a maior circunferência e a maior quantidade de linhas partindo dela e conectando-se a outros nós presentes nas Fases II e III. Isso indica que é um ponto de partida para as pesquisas relacionadas ao tema, esses artigos fundamentam os conhecimentos básicos da pesquisa, conformando as bases do planejamento energético, demonstrando como são os métodos de tomada de decisão; das escolhas de recursos energéticos; e quais os impactos no meio ambiente e nas mudanças climáticas, por meio de palavras-chave como *decision making*, *climate change*, *CO2 abatement* e *energy planning* dispostos nos dois maiores *clusters* #0 *Hierarchical Methodology* e #1 *Emissions Forecast*.

O maior número de palavras-chave com alta frequência de utilização está no intervalo da Fase II, a maior delas é *Renewable Energy* (25), seguida por *System* (19) e *model* (14). Além disso, a densidade de linhas partindo dessa região reflete a centralidade desses termos (Chen, Ibekwe-SanJuan and Hou, 2010; Chen, 2014), que por sua vez, reflete o potencial de evolução do tema (Jiang and Ashworth, 2021). É nessa região que surgem ou se consolidam sete novos *clusters* (#2 ao #7), que abordam temas focalizados geograficamente (#2 e #4) nos tipos de usos finais (#2 e #7), em novos recursos energéticos (#7), e em temas multidisciplinares (#5).

Portanto, a Fase II amplia a fundamentação do tema e fornece novas ferramentas e exemplos de aplicação, sendo crucial para a Fase III, onde se encontra

a maioria dos nós, porém com baixa frequência de utilização, demonstrando que há novidade e uma possível pulverização no campo pesquisado. Esses novos termos concentram-se em soluções técnicas e novos Mod-Fers de PELP como *Computation*, *Cost return*, *Deep-carbonization*, *osemosys samba*, *copras-f method* e o sugimento de um novo *clusters #8 different demand scenario*.

Em relação às métricas compostas e temporal, que incluem a avaliação de novidade das citações e o aumento de *burst*. No caso da Sigma, uma métrica composta, que varia de 0 a 1, é utilizada como uma medida de novidade científica, pois mede a força combinada das propriedades estruturais e temporais de um nó, por meio dos critérios de Centralidade e *Burst*, identificando as publicações que provavelmente estão na fronteira do conhecimento (Chen, 2014).

Os termos com maiores sigmas são *Energy Planning* (0,5), *Renewable Energy* (0,29) e *System* (0,22), ver Tabela 18 e Figura 12⁴³. Esse indicador confirma que esses três termos são os mais importantes dentro da temática pesquisada, ou seja, esses termos devem ser utilizados como base para o levantamento da literatura inicial, pois a partir deles toda uma nova gama de termos, em geral específicos, surgirão.

Tabela 14. Lista das 10 palavras-chave com maior Sigma.

Sigma	Palavra-chave	Sigma	Palavra-chave
0.48	energy planning	0.10	climate change
0.29	renewable energy	0.10	emission
0.24	system	0.09	Brazil
0.17	model	0.08	energy security
0.15	energy	0.08	sector

⁴³ Elaborado no Software CiteSpace.

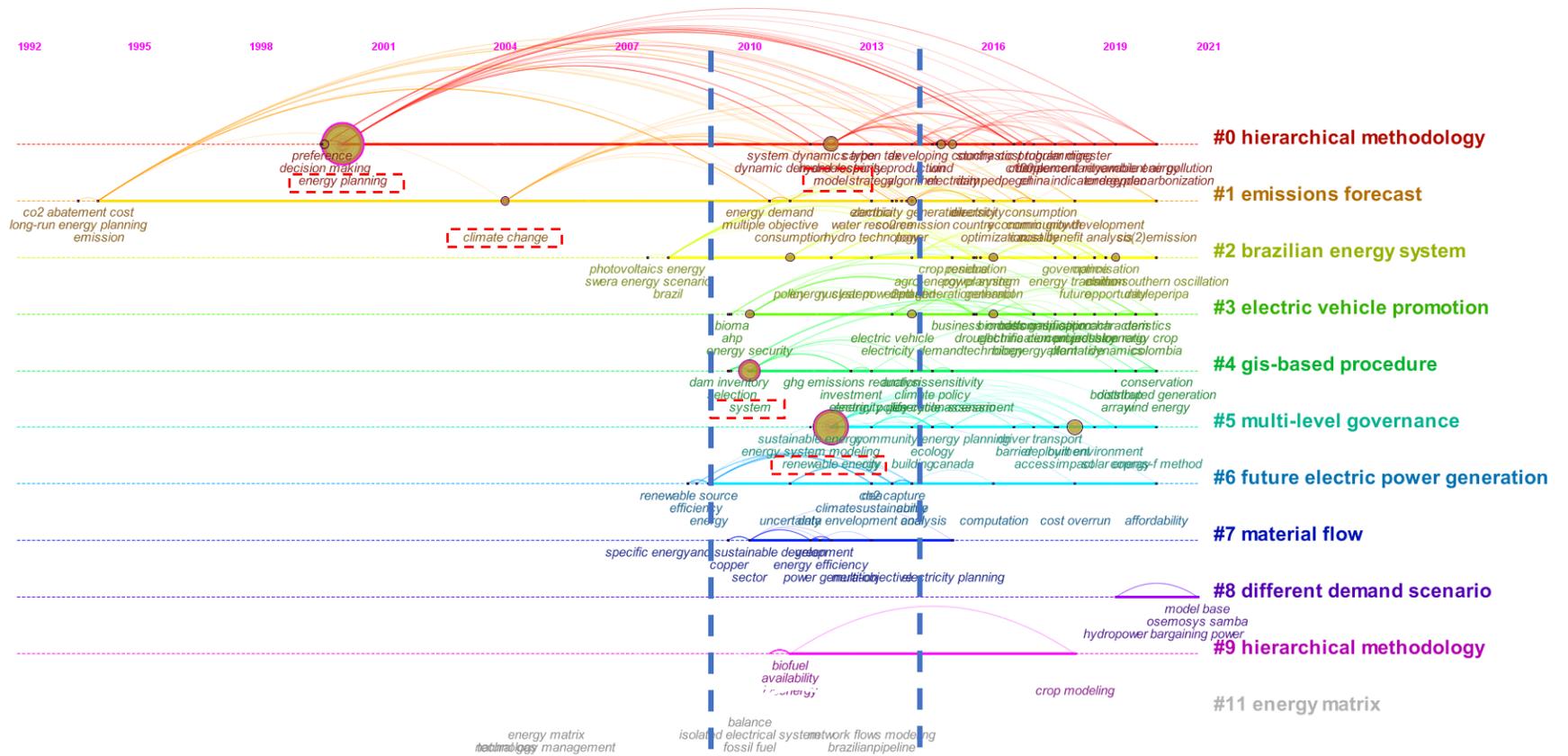


Figura 12. *Timeline* da rede e nós de palavras-chave de alta frequência LLR⁴⁴.

⁴⁴ LLR (*Log-likelihood ratio*) é um teste de razão de verossimilhança usado para comparar a qualidade do ajuste de dois modelos estatísticos, um modelo nulo contra um modelo alternativo, ou seja, expressa quantitativamente a probabilidade de os dados estarem mais próximos de um modelo do que em outro, e pode ser usado para decidir se deve ou não rejeitar o modelo nulo (Dunning, 1993).

No caso da detecção de *burst*, mostra se uma determinada função de frequência tem flutuações estatisticamente significativas durante um curto intervalo de tempo, dentro do período geral da análise (Chen, 2014), ou seja, detecta quando a contagem de citações de uma referência específica aumentou ou se uma determinada conexão foi significativamente fortalecida em um curto período (Chen, Ibekwe-SanJuan and Hou, 2010).

De 1992 a fevereiro de 2021, a partir do processamento de dados dos 124 registros o software *Citespace* (Chen, 2006) identificou 13 palavras-chave com *burst*, todas listadas na Tabela 15 por ordem de início do *burst*. Esses *bursts* representam tópicos de rápido crescimento no domínio sobre Planejamento Energético na AS. Quanto maior a força *Strength* mais concentrada é a palavra-chave correspondente.

Na Tabela 15, a coluna “Ano” representa o ano em que a palavra-chave aparece pela primeira vez, *Strenght* é o valor da força que a palavra-chave teve durante o seu *burst*, as últimas colunas representam o início e o fim da *burst*, onde a barra ciana representa o período dos registros analisados (1992 a 2021) e a barra vermelha indica o período em que a palavra-chave teve o seu *burst* e recebeu atenção mais intensa.

A palavra-chave com maior *Strength* (3,9638) é *Impact*, com período recente de *burst*, de um ano (2018-2019). Outros termos com alto *Strenght* são *Technology* (2, 5027), *Energy Policy* (2,2588) e *Power* (2, 2561), ambos com períodos recentes e curto de *burst*, 02 a 03 anos. Em relação à longevidade de um *burst*, o termo *Natural Gas* foi durante nove anos, 2004 a 2013, de grande relevância dentro das pesquisas de PELP, assim como *Renewable Energy* com *burst* de 05 anos, 2016 a 2021, é relevante atualmente. Ainda sobre os termos que atualmente estão em período de *burst* têm-se *Energy Policy* (2019-2021), *Hydropower* (2019-2021), *Generation* (2018-2021) e *Consumption* (2019-2021). Essas cinco palavras-chave estão relacionadas à fronteira da pesquisa do domínio pesquisado.

Tabela 15. Palavras-chave com os *bursts* de citação mais fortes.

Nº	Palavra-chave	Ano	Strength	Início	Fim	1992-2021
1	natural gas	1992	1,8271	2004	2013	
2	uncertainty	1992	1,476	2011	2014	
3	system	1992	1,4676	2013	2015	
4	power	1992	2,2561	2014	2016	
5	energy security	1992	1,8239	2015	2016	
6	technology	1992	2,5027	2016	2019	
7	renewable energy	1992	1,6944	2016	2021	
8	demand	1992	1,4823	2017	2019	
9	impact	1992	3,9638	2018	2019	
10	generation	1992	1,6587	2018	2021	
11	energy policy	1992	2,2588	2019	2021	
12	hydropower	1992	1,6817	2019	2021	
13	consumption	1992	1,6044	2019	2021	

3.3.2 À profundidade

Conforme definido na metodologia de RS, o processo inicia com a triagem dos 124 registros utilizados na análise de RB. A partir dos **três primeiros passos**, nenhum documento foi excluído e todos foram acessados utilizando a assinatura via portal de períodos CAFe da Capes (CAPES, 2021); no **quarto passo**, foram excluídos 33 documentos, dois deles por não apresentarem estrutura completa (um *data brief* e um editorial), e 31 não continham metodologia de PELP; no **quinto passo**, foram excluídos 34 documentos com cobertura geográfica local (zonas rurais, cidades e áreas insulares); no **sexto passo**, foram excluídos 17 documentos por avaliarem projetos específicos de geração (biomassa, solar, nuclear, hídrico); no **sétimo passo**, foram excluídos 03 documentos por abordarem um único recurso do lado da oferta; no **oitavo passo**, foram excluídos 04 documentos com foco em modelagem da operação de CP; no **nono passo**, foram excluídos 03 documentos de PE de CP; no **décimo passo**, 01 documento foi excluído, por apresentar apenas a avaliação em uma única dimensão, a dimensão técnica; e, no **décimo primeiro passo**, 01 documento foi excluído, por não apresenta rastreabilidade entre metodologia, fonte de dados e resultados, ver Tabela 16.

Tabela 16. Consolidação das etapas de triagem da metodologia de RS.

Passos da etapa da triagem	Excluído	Incluído
Primeiro passo	0	124
Segundo passo	0	124
Terceiro passo	0	124
Quarto passo	33	91
Quinto passo	34	57
Sexto passo	17	40
Sétimo passo	3	37
Oitavo passo	4	33
Nono passo	3	30
Décimo passo	1	29
Décimo primeiro passo	1	28
Total	96	28

O APÊNDICE E apresenta a lista completa dos documentos excluídos, por agrupamento e critério de exclusão. Por fim, a análise, sistematização e discussão dos Mod-Fers de PELP são realizadas com base em **28** documentos selecionados.

Dos 28 documentos, dois são artigos de revisão de Mod-Fer de PE. No caso de DEBNATH e MOUSHED (2018a), são sistematizadas e analisadas 34 ferramentas para modelagem de PE e suas aplicabilidades em países em desenvolvimento.

Os resultados demonstram que as ferramentas, em sua maioria, são desenvolvidas por países desenvolvidos, cujo objetivo principal do PE é reduzir as emissões de GEE e aumentar a segurança energética, enquanto os países em desenvolvimento, em sua maioria, almejam aumentar o acesso às formas convencionais de energia por meio da expansão da infraestrutura, um pré-requisito para o desenvolvimento econômico e social.

MACHADO et al. (2019) também sistematizam e analisam 34 ferramentas de modelagem de PE, verificando as suas aplicabilidades e lacunas. Concluindo que as aplicações estão focadas em países desenvolvidos e na China com uma lacuna de aplicação em países em desenvolvimento da África e AS. Além disso, as ferramentas são direcionadas à mitigação das mudanças climáticas e não são adequadas para avaliar as desigualdades geográficas e setoriais, principalmente devido à falta de dados e aos custos relacionados à sua coleta.

Esses dois artigos de revisão somados aos de Van Beeck (1999) e Relva (2022), estabelecidos na metodologia, conformam as bases de classificação e sistematização do processo de RS.

O APÊNDICE F apresenta a consolidação das características gerais, ver Tabela 44, e específicas, ver Tabela 45, dos Mod-Fers analisados, com suas respectivas denominações e referências. Os outros 26 documentos são artigos de aplicação de PELP.

Nesses documentos são identificados, analisados e caracterizados 22 Mod-Fers utilizados para a elaboração do PELP. Resultando no estabelecimento de quatro categorias: ferramentas; ferramentas de apoio; modelos; e modelos de apoio, ver Tabela 44.

Os Mod-Fers têm o **objetivo geral** de oferecerem cenários de previsão de oferta, demanda, ou ambos, de energia para um horizonte de tempo pré-estabelecido para serem utilizados como suporte na decisão de investimento, expansão da infraestrutura e análise política dentro do contexto do PELP.

Já os Mod-Fers de apoio têm o **objetivo geral** de expandir as dimensões analisadas nas categorias anteriores, geralmente técnicos e econômicos e expressos exclusivamente em termos quantitativos, ao considerar externalidades e inserir indicadores e atributos sociais, políticos e ambientais de cunho qualitativo no PELP, como as ferramentas de análise multicritério que interpretam dados qualitativos de forma ordinal para fins de modelagem, ou para considerar a geografia e variações climáticas anuais e interanuais, como os modelos de georreferenciamento.

O **objetivo específico**, independentemente do tipo de modelo e ferramenta, é determinar a oferta e demanda de energia ao longo do tempo, 14 delas estimam a oferta e a demanda; quatro, apenas a oferta; e uma, em nível de mercado spot.

Algumas ferramentas de PELP são um acoplamento de diferentes ferramentas (Quijano H, Botero B and Domínguez B, 2012; Brand and Missaoui, 2014; Malkawi, Al-Nimr and Azizi, 2017; Gaete-Morales *et al.*, 2019; García Kerdan *et al.*, 2019; Prina *et al.*, 2019), o que permite a inserção de outras dimensões de avaliação, além das tradicionalmente utilizadas como as dimensões técnicas, econômicas e emissões de GEE (La Rovere, Legey and Miguez, 1994; Mirasgedis *et al.*, 2004; Rampidis, Giannakopoulos and Bergeles, 2010; Taseska-Gjorgievska *et al.*, 2013; Koltsaklis *et al.*, 2014; Thangavelu, Khambadkone and Karimi, 2015; Pattanapongchai and Limmeechokchai, 2015; Rehman *et al.*, 2017; Gómez, Arango-Aramburo and Larsen, 2017; Gaete-Morales *et al.*, 2019; García Kerdan *et al.*, 2019; Prina *et al.*, 2019; Henao

and Dyner, 2020), pois incluem impactos sociais e ambientais que só podem ser analisados de forma qualitativa.

Por exemplo, a MODERGIS (Quijano H, Botero B and Domínguez B, 2012), que consolida ferramentas de georreferenciamento (ENERGIS), de PELP (ENERDEM) e de análise multicritérios (ENERSOS) permitindo a consideração da alocação e distribuição de RELOs na geografia local (ENERGIS) e de critérios sociais, políticos, de sustentabilidade e ambientais, inclusive com a participação dos EN-INS (ENERSOS) na construção e avaliação do PE. Esses critérios podem desempenhar um papel fundamental na viabilidade de implantação de uma UG e transmissão (Van Beeck, 1999).

Em relação à **abordagem analítica**, 12 são classificados como do tipo *bottom-up*, 05 como híbrido e dois como *Top-down*. Essa classificação demonstra que a maioria dos Mod-Fer disponíveis exigem uma gama de dados discretos e desagregados, detalhamento das tecnologias de oferta e dos setores energéticos, que são as entradas básicas para as abordagens dos tipos *bottom-up* e híbridos. O local de desenvolvimento dessas ferramentas são majoritariamente países desenvolvidos, que possuem com coleta e atualização de dados confiáveis, demanda de energia com pouca variação anual, progressiva estabilidade política e crescimento econômico (IEA, 2010, 2017b; Debnath and Mourshed, 2018a; The World Bank, 2018).

A aplicação dessas abordagens para a elaboração do PELP de países em desenvolvimento é crítica, uma vez que esses países possuem desafios endógenos de coleta, atualização e confiabilidade dos dados (Relva *et al.*, 2021), demanda reprimida de energia, baixa penetração tecnológica e eletrificação, instabilidade política e crescimento econômico oscilante em curtos períodos (González-Eguino, 2015; Udaeta and Silva, 2017; Udaeta *et al.*, 2017; Debnath and Mourshed, 2018a; The World Bank, 2018; Oliveira da Silva *et al.*, 2021; Relva *et al.*, 2021), o que pode resultar em estimativas energéticas imprecisas ou aumentar a incerteza da previsão de LP (Relva *et al.*, 2021).

Essa exigência de quantidade e qualidade dos dados advém da **metodologia implícita** a esses modelos e ferramentas, que são fundamentalmente modelos matemáticos que utilizam métodos estatísticos, estocásticos e de equilíbrio econômico geral ou parcial para a produção de cenários de previsão de LP.

As principais **metodologias implícitas** nas ferramentas analisadas são Simulação (07), Otimização (08), ou ambas (04), que utilizam históricos de variáveis, restrições de entrada e a descrição lógica dos sistemas energéticos existentes e que se almejam implantar (Van Beeck, 1999), para testar se a saída selecionada satisfaz as restrições definidas e, por fim, encontrar a solução de menor custo para o mercado de energia para diferentes políticas energéticas adotadas. Por esse motivo, que a incongruência de dados de entrada pode gerar cenários imprecisos, deflacionar ou inflacionar a demanda e aumentar a incerteza das previsões de LP (Relva, 2022), resultando em equivocadas tomadas de decisões políticas e de investimentos.

Em relação à **cobertura geográfica**, os modelos e as ferramentas possuem amplas opções de seleção territorial, essa flexibilidade é uma característica comum. Algumas ferramentas permitem a análise em nível local a nacional (02), local a regional (07) até local e global (01). Porém, algumas são limitadas a regiões territoriais específicas, permitindo apenas a análise em nível nacional (07) ou global (01).

Essa mesma flexibilidade ocorre na **cobertura setorial**, em que é possível analisar um único setor, como industrial ou residencial, ou subsetores, residencial urbano e residencial rural, até toda a complexidade e singularidades dos setores econômicos e energéticos de um país ou região (19), com exceção de uma ferramenta de apoio que faz análise unisetorial, que neste caso é o setor de transporte (García Kerdan *et al.*, 2019), e duas que analisam os setores econômicos e energéticos de forma agregada (García-Gusano, Iribarren and Dufour, 2018; Gaete-Morales *et al.*, 2019; Pappis *et al.*, 2021). Essa característica de representação setorial desagregada reforça a hegemonia das ferramentas do tipo *bottom-up* e a necessidade de amplo uso de dados de entradas para realização das análises de PE.

No que tange ao **horizonte de tempo**, excluindo a ferramenta EnergyPLAN, que possui resolução horária com horizonte de um ano (Prina *et al.*, 2019), os outros Mod-Fers analisados são de LP e com horizonte indefinido. Essa característica permite que também sejam feitas análises nos períodos de CP e MP. Em geral as ferramentas são tipicamente utilizadas para períodos de 20-30 anos, a partir do ano base, porém há aplicações de cenários com horizonte máximo em 2100 (Ullash K. Rout *et al.*, 2011).

A principal distinção entre elas está na resolução anual, ou seja, na forma como o intervalo de um ano pode ser dividido, o que permite a inserção de características intrínsecas aos sistemas energéticos como curvas de carga, diárias e mensais, e sazonalidades climáticas, de fontes e recursos energéticos. A resolução mais comum é a anual (08), em que não há divisão do ano em intervalos menores, seguida por resolução interanual (04) até modelos de resolução horária (03), que em geral podem ser aplicados para o planejamento da operação. Sete ferramentas possuem resolução indefinida, pois são utilizadas como apoio e análise multicritério.

Os **requisitos de dados** são bem diversos. A maioria dos Mod-Fers utiliza como entradas dados cardinais do tipo quantitativos, financeiros, agregados e desagregados (12). Embora os dados financeiros sejam quantitativos, é importante classificá-los separadamente, como sugere Debnath & Mourshed (2018a), dada a sua extensiva utilização nos diferentes Mod-Fers (16), demonstrando a relevância dos indicadores econômicos na conformação das modelagens.

Dentre os tipos de **requisitos de dados**, os dados quantitativos estão presentes em todos os Mod-Fers (22), os dados agregados em 19 e desagregados em 18, sendo este último é fundamental para melhorar a interpretação dos sistemas existentes. Já os dados qualitativos ou ordinais são os menos recorrentes (03), presentes em duas ferramentas de apoio e um modelo de PELP. Não à toa, as principais variáveis de saídas são energia gerada ou potência instalada, emissão de GEE e custo, além disso, essas saídas geralmente são normalizadas pelo PIB ou renda per capita (Debnath and Mourshed, 2018a).

Esses resultados fazem sentido quando se verificam os atributos utilizados nas **dimensões** analisadas por esses Mod-Fers. Os tipos de atributos⁴⁵ mais comuns são do tipo técnico e econômico, 19 cada. A intersecção desses dois está presente em 17 Mod-Fers.

Quando analisada a dimensão ambiental, os atributos do meio aéreo, emissões de CO₂ (16) e outros tipos de poluentes atmosféricos (07), são os mais recorrentes. Atributos de sustentabilidade (02) são utilizados para avaliar a inserção de diferentes tipos de RELOs e RELDs (Quijano H, Botero B and Domínguez B, 2012), porém, são

⁴⁵ Dentro do definição de dimensões do PIR desenvolvido por UDAETA (2012).

limitados a emissões de GEE (meio aéreo), lançamento de contaminantes na água (meio aquático) e mudança e uso do solo (meio terrestre).

A utilização de atributos da dimensão social (04) é limitada à geração de empregos e à saúde da população, dada a implantação e operação de um determinado RE. Há duas ferramentas de suporte que permitem a utilização de qualquer tipo de atributo, ou seja, permite a avaliação dos recursos em quantas e em qualquer dimensão desejada, ambas são do tipo MCDM (*Multi-Criteria Decision-Making*).

A participação de **interessados e envolvidos** na construção dos cenários de PELP é limitada a quatro ferramentas, que fazem uma valoração qualitativa dos atributos vinculados às dimensões analisadas, por meio de ferramentas de apoio do tipo MCDM, para posteriormente serem inseridas como dados de entrada quantitativos na modelagem.

A participação dos En-Ins ocorre exclusivamente por meio de consultas a tomadores de decisões, aos agentes de mercado, especialistas setoriais, acadêmicos e, em alguns casos, são consideradas a percepção ou aceitação pública das populações afetadas localmente.

No que tange à **integração energética**, 09 ferramentas e um modelo consideram-na como dado de entrada para a elaboração da modelagem. O seu uso é limitado à avaliação de importação e exportação de energia ou eletricidade na região, do ponto de vista estritamente técnico (quantidade de energia importada) e custo (custo do energético por tonelada ou MWh), sem consideração de atributos sociais e políticos (i.e., aspectos geopolíticos, impactos sociais e ambientais, aceitação pública, contratos de LP binacionais ou multinacionais) que podem impactar a implantação e operação do RE no LP.

4 METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DE POTENCIAL COMPLETO DE RECURSOS ENERGÉTICOS PARA INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA TRANSNACIONAL

A metodologia⁴⁶ de determinação de potencial completo de RE para a IET (DPC-IET) parte do levantamento dos recursos energéticos (RE) disponíveis para a IET num país - localizados em suas diversas sub-regiões nacionais (terrestres ou marítimas) - para a exportação transnacional - via redes físicas (gasodutos e LT) ou redes virtuais (ramais de transporte marítimo, ferroviário e rodoviário) -, de modo a orientar a avaliação da inserção desses RE no PELP, por parte de agentes do setor, instituições nacionais e transnacionais, empresas públicas e privadas, agências de regulação, universidades, sociedade civil. Ou seja, todos os En-Ins no processo de planejamento e implementação de políticas públicas de diversificação das importações de energéticos, de forma regulada ou por direcionamento preferencial de investimentos de agentes de mercado (Baitelo, 2011).

Assim, o RE disponível para exportação é valorado, não apenas nas dimensões técnico-econômicas, que geralmente partem da perspectiva do menor custo econômico, e ambiental, que geralmente se limita às emissões de GEE, comumente utilizadas no PE tradicional. A valoração do RE nesta metodologia vai além destas duas dimensões, permeando diversas áreas da ciência, a partir da inclusão das dimensões política, social e na completude da dimensão ambiental⁴⁷, pelo emprego de análises técnicas, ferramentas matemáticas e computacionais e custos parametrizados, configurando o seu caráter sistêmico (Udaeta, 2012) e resultando na determinação da valoração completa do RE disponível para a IE transnacional.

A metodologia proposta é modular em todas as suas etapas, adaptável a um ou vários agentes (pública, privada, local, regional etc.) e variável no tempo e na geografia. A perspectiva do tempo considera disponibilidade do RE, por parte do exportador, e o horizonte de tempo do planejamento, por parte do importador. O ponto de vista da geografia considera que os impactos ambientais e sociais diferem-se de

⁴⁶ Acesso ao modelo desenvolvido no link: <https://github.com/vibadaui/Energy-Planning.git>

⁴⁷ Dentro do conceito do PIR desenvolvido por UDAETA (1997, 2012).

acordo com a região, a qual os REs estão inseridos (Maruyama, 2013). Essas características indicam que cada aplicação desta metodologia é *sui generis*.

Isto posto, ela prevê a realização de um conjunto ordenado de ações analíticas distintas e cronologicamente sequenciais para apreciação dos REs passíveis de utilização transnacional, as quais consideram as etapas metodológicas de: (i) levantamento e estruturação de informações prévias (inventário energoambiental; listagem, peneiramento e seleção dos REs; identificação dos En-Ins); (ii) caracterização de recursos energéticos, e (iii) determinação dos potenciais completos, ver Figura 13.

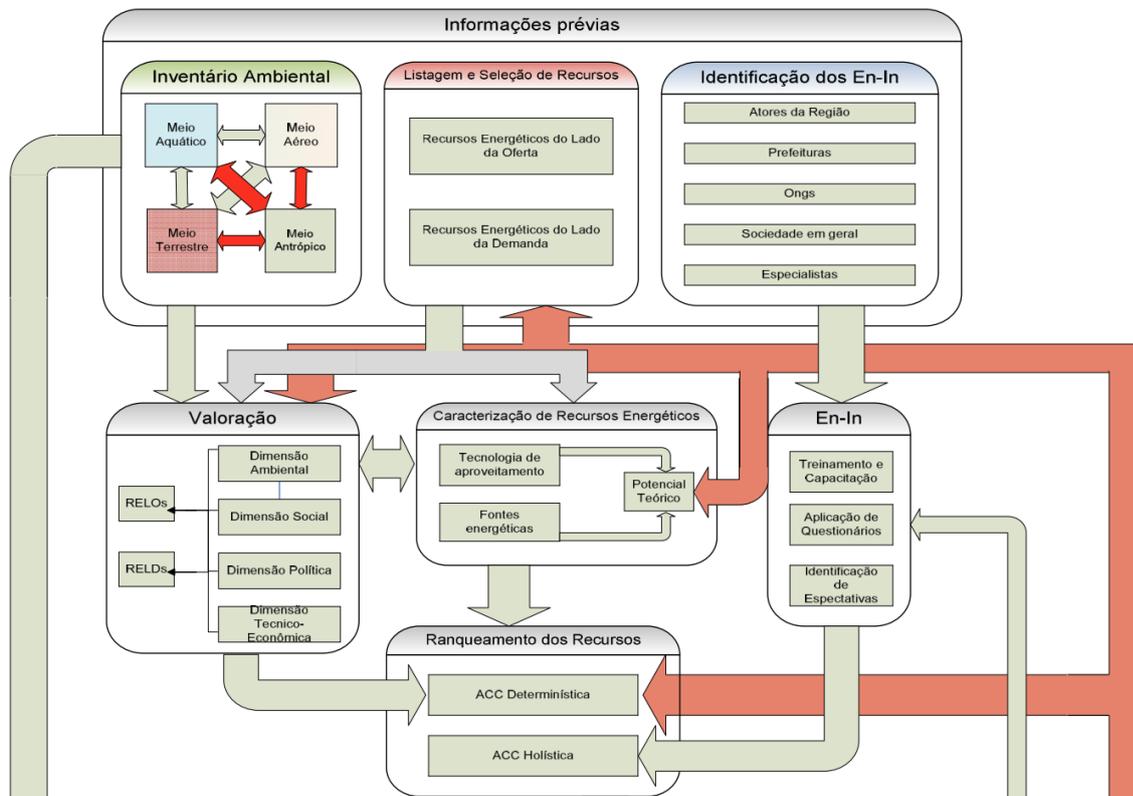


Figura 13. Arranjo esquemático da metodologia modular.
Fonte: Adaptado de Bernal (2018).

Portanto, os agentes importadores dos REs têm em mãos a valoração do potencial completo de um determinado RE e, com isso, podem avaliar a viabilidade e medir a segurança da sua inserção no LP de forma planejada e consistente, já que a metodologia de determinação e valoração é manuseável e adaptável a diferentes espaços geográficos e períodos temporais (Udaeta, 1997).

4.1 LEVANTAMENTO E ESTRUTURAÇÃO DAS INFORMAÇÕES PRÉVIAS

A etapa de levantamento e estruturação de informações prévias conforma a base de dados e informações que subsidiam a construção de todos os módulos da metodologia, sendo constituída por três componentes fundamentais e interdependentes – os REs, as necessidades regionais e a motivação dos En-Ins (Fujii, 2006) -, a compreensão dessa interdependência permite a caracterização dos REs e a efetiva implantação do PELP dentro do contexto geográfico e temporal.

A aquisição e posterior composição das informações prévias são estruturadas em três módulos: (i) inventário energoambiental que compreende a sistematização de dados da região de estudo contemplando as características ambientais, econômicas, energéticas, políticas e sociais; (ii) listagem, peneiramento de RE consoante a disponibilidade tecnológica e singularidades da região; e (iii) identificação dos En-Ins, quando todos os agentes envolvidos e interessados no PE da região são identificados e categorizados, ver Figura 14. Ressalta-se que a profundidade das informações depende do tempo e da equipe disponível para a realização da atividade.

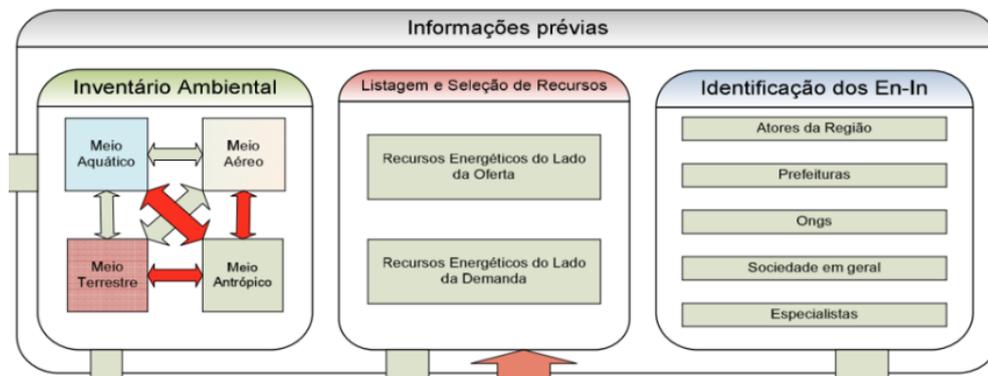


Figura 14. Arranjo esquemático do módulo de levantamento e estruturação das informações prévias.

Fonte: Adaptado de Bernal (2018).

O levantamento das informações para a estruturação desses três módulos corresponde a uma revisão bibliográfica de informações contidas em banco de dados e documentos, que em geral são obtidas de agências de estado (ministérios federais, secretarias estaduais e municipais, órgãos de planejamento e regulação), entidades supranacionais (OLADE, BID, BM), empresas públicas e privadas (BP, Eletrobras, YPF), grupos e associações de classe (WEC, IRENA, CIER), artigos técnico-científicos (artigos de periódico e conferências).

Esse levantamento pode ser feito de duas maneiras. A primeira de forma casual e hipotética, quando há necessidade de exploração e imersão em objeto de análise difuso, seguida por um método sistemático por meio de metodologias consolidadas, como as descritas no Capítulo 3. A segunda, quando se conhece o objeto de análise, utilizam-se estritamente métodos sistemáticos, principalmente o de revisão sistemática.

A etapa de estruturação ocorre por meio de categorização e tabelamento das informações levantadas, transformadas em indicadores e índices e, quando necessário, são convertidos em unidades padronizadas (tep, MW, USD per capita), resultando na apresentação da paisagem do objeto estudado, ou seja, descreve de forma estática o momento da geografia, em que foram mineradas e analisadas as informações (Udaeta, 2012).

4.1.1 Inventário energoambiental

O Inventário energoambiental, supõe-se que exista, é um preâmbulo de fomento à valoração dos potenciais de cada RE e serve de suporte para a definição das aptidões regionais de geração de energia medidas por grandezas físicas dos sistemas naturais e humanos a partir do prisma de quatro meios primordiais⁴⁸, ver Figura 15.

O **Meio Aéreo** considera a variação da concentração de diferentes substâncias poluentes da atmosfera, procedentes das etapas de produção até o uso final do RE, medidas por atributos de emissões GEE, particulados, precipitações.

O **Meio Antrópico** considera as características, diretas e indiretas, dos aspectos socioeconômicos do estilo de vida e da relação da sociedade, entre si e com ambiente, por meio de atributos históricos, locacionais, demográficos, infraestrutura.

O **Meio Aquático** é fundamentalmente dual, pois considera a demanda de recursos hídricos e a geração de efluentes líquidos, medidos em função da captação e consumo de água nos processos da cadeia energética e pela emissão de efluentes líquidos em corpos d'água e a alteração dos seus parâmetros de qualidade.

⁴⁸ Dentro do conceito do PIR desenvolvido por UDAETA (1997, 2012).

O **Meio terrestre** considera a deposição de poluentes aéreos e resíduos sólidos no solo, medidos em função de seu peso em relação a energia produzida, e considera o uso e a degradação do solo devido ao projeto energético, medido em função da área ocupada em relação a capacidade instalada ou em relação ao volume de energéticos produzidos.

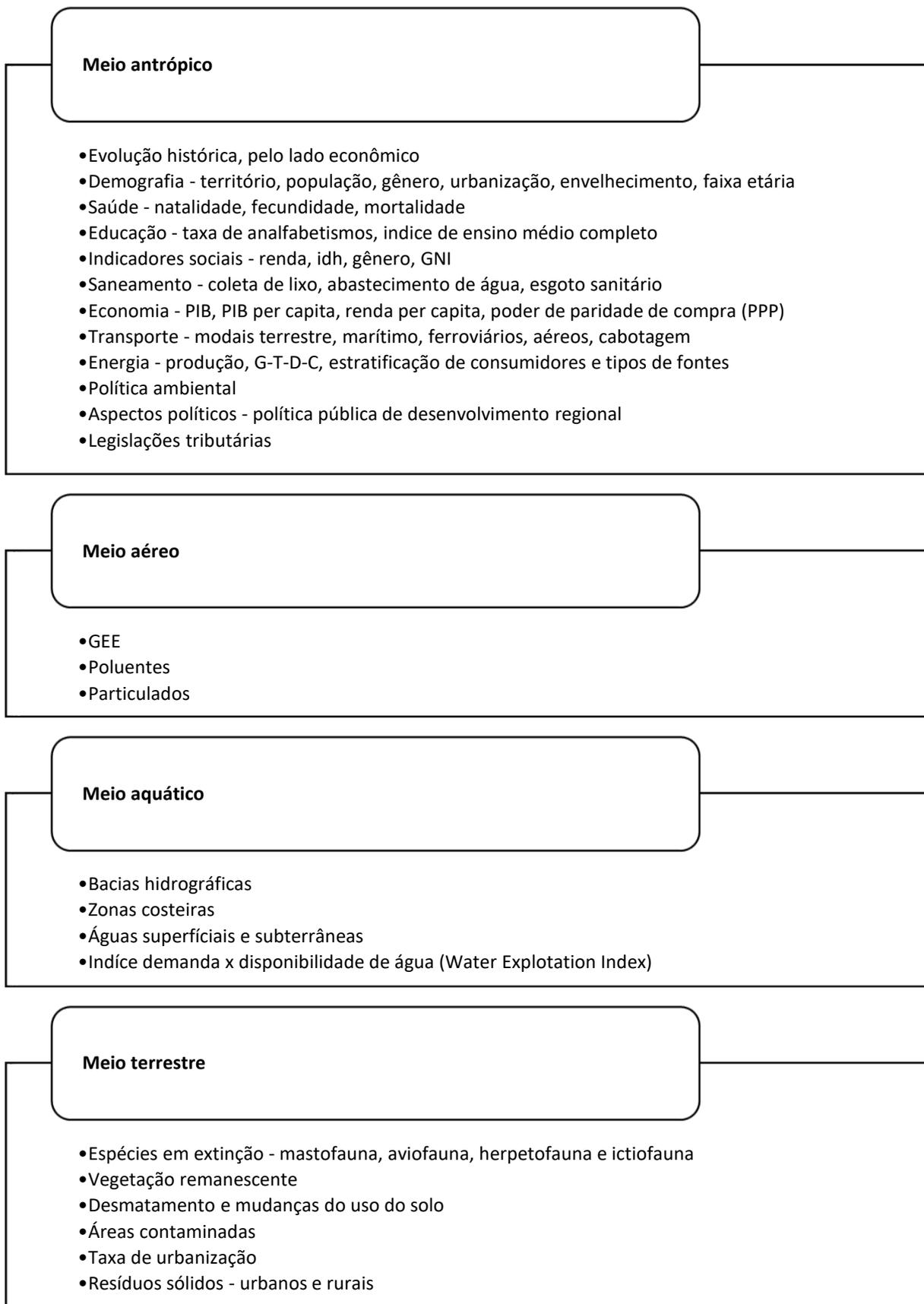


Figura 15. Referências de dados e informações do inventário energoambiental.

4.1.2 Listagem e peneiramento de RE

Os REs, sejam do lado da demanda ou do lado da oferta, intitulados de RELD e RELO⁴⁹, respectivamente, passam por uma etapa de listagem e peneiramento que precede o momento de seleção e classificação dos RELDs e RELOs, na qual a consideração pela avaliação completa de alguns RE é suspensa por meio da avaliação de aplicabilidade na região avaliada e pela disponibilidade do RE (Udaeta, 1997; Cicone Junior, 2008; Baitelo, 2011).

A listagem de recursos energéticos é a primeira etapa deste módulo procedimental, possui caráter exploratório e temporal - no sentido que um RE indisponível ou sem interesse factual pode ser incluído no LP devido a alterações tecnológicas ou social. Ela visa identificar todos os recursos, do lado da oferta e do lado da demanda, que podem ser utilizados ao longo do horizonte de planejamento, independentemente das suas características tecnológicas ou da sua aceitação, seja social ou de mercado (Rigolin, 2013). Esses REs são listados e organizados com suas características (Baitelo, 2011; Udaeta, 2012).

O peneiramento, é a segunda etapa deste módulo procedimental que consiste em: (i) verificar a geografia, no sentido de determinar as vocações naturais e as limitações de utilização de uma fonte energética geograficamente disponível sob as lentes das atividades humanas existentes e latentes, possibilitando uma visão sistêmica sobre a região em análise (Kanayama, 2007; Bernal, 2018); (ii) levantar ou estimar volume útil (RES_i) das fontes energéticas, reservas⁵⁰ ou potencial de geração; (iii) levantar ou estimar o consumo nacional de fontes energéticas, representado pelo elemento CON_i , no horizonte de LP; e (iv) determinar o potencial de exportação de fontes e recursos energéticos, representado pelo elemento DIE_i , e calculado pela Equação (1). A saída desse processo é uma matriz $[DIE_{i,1}]$ que consolida as fontes e potenciais disponíveis para exportação da região de avaliada, ver Equação (1).

$$DIE_i = RES_i - CON_i \quad (1)$$

⁴⁹ Dentro do conceito do PIR desenvolvido por UDAETA (2012).

⁵⁰ Incluem reservas provadas, prováveis, possíveis de recursos minerais e hidrocarbonetos, potencial hidroelétrico, potencial eólico, solar, de correntes, marítimo, etc.

$$[DIE_{i,1}] = \begin{bmatrix} DIE_{1,1} \\ \vdots \\ DIE_{i,1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

No caso dos RELDs, embora sejam fundamentais no PELP, na IET, eles não são avaliados individualmente como os RELOs, mas modelados, ver Equação (3), como um RE que expande, ao longo do tempo, o potencial de exportação DIE_i , de uma fonte energética, RES_i , por parte do país exportador e gestor do RELD, para o país importador do RELO, ver Equação (5).

$$RELD_{i,t} = \sum_{i=1}^{I_{th}} CON_{i,t} \quad \forall t \quad (3)$$

$$\downarrow CON_{i,t} = CON_{i0,t} - \uparrow RELD_{i,t} \quad (4)$$

$$\uparrow DIE_i = RES_i - \downarrow CON_i \quad (5)$$

É importante observar que, diferentemente da abordagem tradicional do PIR⁵¹, na IET, o consumidor final é o país importador de energia, que se beneficia ao incorporar a energia decorrente da ampliação da oferta interna do país exportador, devido a políticas públicas de GLD e eficiência energética, e da diminuição de riscos de suprimento. Por parte do país exportador, o benefício da IET se dá pelo ganho econômico oriundo da comercialização de energia, implantação de infraestrutura *greenfield* no país utilizando receita externa e possível superavit primário.

Além disso, as políticas públicas de RELD com métricas e resultados evidentes, implantados em um determinado país, podem se tornar um exemplo regional, permitindo a criação de um HUB virtual de energia e de projetos para exportação e aplicação nos países da região. Essa ferramenta é intitulada HUBIET de políticas públicas de RELD.

4.1.3 Identificação dos En-Ins

O mapeamento dos agentes que usufruem dos benefícios e externalidades (positivas e negativas) do setor energético em sua completude tem o intuito de identificar e listar os En-Ins de uma determinada região, para posteriormente

⁵¹ Dentro do conceito do PIR desenvolvido por UDAETA (1997, 2012).

participarem do processo de elaboração do PELP e mais incisivamente na avaliação dos REs. Uma ampla identificação dos En-Ins alça a possibilidade de uma participação isonômica da sociedade no PELP, uma vez que todos (quanto possível) os setores da sociedade *in situ* podem participar ativamente no processo de avaliação, por meio de troca de experiências em pesquisas e entrevistas locais, reuniões, treinamentos técnicos e na realização de dinâmicas de avaliação de custos completos desses recursos energéticos nas quatro dimensões (Fujii, 2006; Udaeta, 2012; Rigolin, 2013).

Como cada uma das avaliações dos En-Ins tem o mesmo peso no processo de avaliação dos custos completos, há redução de disparidades entre agentes organizados e com poder econômico e político sobre a interpretação e valoração dos atributos avaliados pelos En-In em relação a parcelas da sociedade organizadas de forma autônoma ou sem suporte estrutural de entidades de classe. Ou seja, há uma democratização da avaliação e da tomada de decisão, por parte ampla da sociedade, dos rumos do PELP, o que pode implicar a redução de externalidades, rejeição ou intervenções durante o processo de implantação do plano energético.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DE RECURSOS ENERGÉTICOS

Os REs após passarem pelo módulo de listagem e peneiramento são caracterizados pela composição do *duo* - fontes energéticas mais a tecnologia de aproveitamento (Kanayama, 2007), ver Figura 14. Esse conceito é chave dentro do entendimento e discussões desta tese, uma vez que toda menção a um RE sempre estará associada a uma determinada fonte e à sua tecnologia de aproveitamento. Além disso, a caracterização e avaliação de um RE deve considerar as tecnologias ambientais – captura e armazenamento de carbono (CCS) -; tecnologia de transporte – gasodutos -; e tecnologia de transmissão – LTTs, ver Figura 16.

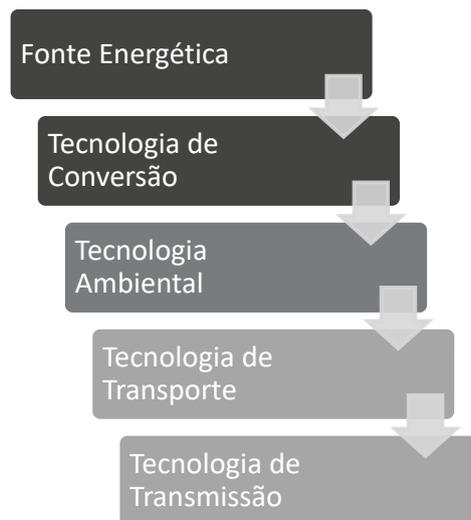


Figura 16. Representação da categorização dos REs.

Esses dois tipos de REs são distintos e abordados separadamente no PE tradicional, mas no planejamento integrado de recursos (PIR) são avaliados e classificados da mesma forma, sendo considerados de maneira integrada e indissociável ao PELP (Rigolin, 2013), uma vez que qualquer que seja o seu tipo ou a sua procedência, o seu objetivo final é satisfazer às necessidades energéticas instantâneas e indelévels da sociedade pela disponibilização de energia, seja por meio de geração de novo elétron ou por medidas de eficiência dos usos finais (Baitelo, 2006).

Essa explicação se faz necessária dado o tratamento tradicional em relação aos REs, que estão estritamente vinculados a uma determinada fonte energética (sol, vento, petróleo, GN) sem levar em consideração as suas diversas formas de transformação e aproveitamento (módulo fotovoltaico ou concentrador parabólico; aerogerador de eixo vertical ou de eixo horizontal; turbina ou motores; *heavy frame engines* ou *aeroderivative engines*) (Siemens, 2017; Galvão *et al.*, 2019; U.S. DOE, 2019; Udaeta *et al.*, 2019; Stefania Gomes Relva, Abubakar, *et al.*, 2020; Martinez-Bolaños *et al.*, 2021). Essa omissão impacta da disponibilidade e no potencial do RE, já que as diversas formas de aproveitamento apresentam eficiências, externalidades e custos completos diferentes.

Acerca dos RELOs, vale a pena defini-los como a composição de uma fonte primária ou secundária de energia ligada a uma determinada tecnologia de uso (Cicone Junior, 2008). A metodologia de caracterização se baseia no levantamento

de informações gerais, conformadas nas quatro dimensões, das diversas tecnologias existentes e por faixas de potência em relação à fonte, renovável ou não (Bernal, 2018).

Portanto, o RELO é sempre uma fonte energética que pode ser solar, eólica, GN, urânio mais a sua tecnologia de aproveitamento - módulo FV, aerogerador, turbinas a gás, turbinas a vapor (Maruyama, 2013; Maruyama *et al.*, 2018) - segmentadas por faixas de potência (Pot) ou CI, variando de pico e minigeração ($1\text{kW} \leq \text{Pot} < 100\text{kW}$) até grandes parques geradores ($\text{Pot} \geq 100\text{MW}$), para diferenciá-los em termos de escala e opção de aplicação.

Quanto aos RELDs, são definidos pela associação de medidas de conservação ou aumento da eficiência energética pelo lado da demanda, aplicados a uma tecnologia de uso final no contexto de um determinado setor da economia, ou seja, são caracterizados pelas tecnologias ou ações que permitam conservar ou economizar energia em seus diversos tipos de usos finais e setores da economia (Baitelo, 2006; Maruyama, 2013; Maruyama *et al.*, 2018).

Essa energia conservada ou economizada, intitulada de "geração virtual", é considerada como um recurso de energia⁵², pois permite sua utilização em outros segmentos de usos finais ou até mesmo economiza a fonte energética para uso posterior (Cicone *et al.*, 2008; Cicone Junior, 2008), além de reduzir impactos nos meios aéreos, aquáticos e terrestres e, inclusive, postergar investimentos em expansão de RELOs (Baitelo, 2011; Dranka and Ferreira, 2018).

A sua metodologia de caracterização se dá pelo escalonamento de informações, dentro das quatro dimensões, por patamares de potencial (máximos, teóricos, realizáveis ou de mercado) das ações de GLD, por setores energéticos, e das tecnologias de usos finais para os setores comercial, industrial, público, residencial, rural e transportes (Baitelo, 2011; Rigolin, 2013; Maruyama *et al.*, 2018).

Portanto, a metodologia de caracterização dos REs é holística, considera a completude de atributos – representando os impactos, limitações, disponibilidade, desenvolvimento inerente a todos os REs – na geografia e no tempo e dentro das

⁵² Dentro do conceito do PIR desenvolvido por UDAETA (2012).

dimensões: ambiental (DAMB), política (DPOL), social (DSOC) e técnica-econômica (DTEC).

Essas dimensões pautam a caracterização dos atributos e permitem a avaliação completa dos REs em relação aos custos e benefícios provenientes da sua aplicação (Udaeta, 2012).

4.3 MODELO DE DPC-IET

O módulo de DPC-IET abrange a valoração dos atributos e subatributos – em termos relativos (i.e.: aferindo a qualidade da água antes e depois da implantação do RELO) e absolutos (i.e.: computando as emissões de GEE decorrentes da operação do projeto) - vinculados as quatro dimensões, dos REs inventariados e caracterizados no módulo anterior, de modo a incorporar as suas externalidades e uniformizar a avaliação dos diferentes tipos de REs.

A valoração é executada por algoritmos, expressos por rotinas computacionais ou formulações matemáticas (Cerquetani and Martins Filho, 2006; Baitelo, 2011) balizadas pelos potenciais energéticos – teórico (contabilizado pela utilização de parâmetros naturais, geográficos e energéticos como reservas, latitude, proximidade da costa, quedas e vazão d'água), realizável (considerando a eficiência das tecnologias e processos, perdas e restrições técnicas) e de mercado (que inclui condicionantes macroeconômicas, financeiras, políticas e riscos) – em função das faixas de potência instalada ou energia gerada pelo projeto, valendo-se das possibilidades naturais locais, bem como de limitações impostas pelas quatro dimensões analisadas (Baitelo, 2011; Udaeta, 2012; Rigolin, 2013; Udaeta *et al.*, 2016), ver Figura 14.

Para a metodologia é essencial a determinação de quatro árvores de atributos (Yu *et al.*, 2010; Mikučionienė, Martinaitis and Keras, 2014; Moutis, Skarvelis-Kazakos and Brucoli, 2016), uma para cada dimensão, com alguns atributos ramificados em subatributos (ambos não paramétricos⁵³), ver Figura 17. Essas árvores, conforme estabelecido por UDAETA (1997), possuem pesos equivalentes e imutáveis, de 25% cada, na avaliação do RE.

⁵³ Abrange técnicas que não necessitam de dados pertencentes a nenhuma distribuição específica.

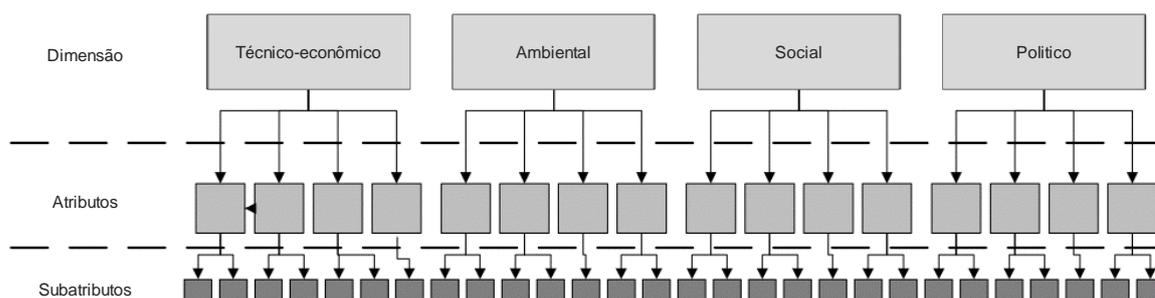


Figura 17. Modelo de árvore de decisão contendo atributos e subatributos.

Fonte: Adaptado de Rigolin (2013).

No caso dos atributos e subatributos, as suas intitulações são genéricas e as suas formas de valoração não são pétreas, ou seja, os algoritmos de valoração são customizáveis, de acordo com a aplicação (geográfica, temporal e dos En-Ins), e inclusive as suas determinações podem ser definidas por inferência ou até mesmo aproximação, sendo seus valores traduzidos em termos numéricos ou descritivos, de forma a possibilitar a comparação entre os diferentes REs analisados (Baitelo, 2006, 2011; Fujii, 2006).

Porém, por regra metodológica, nenhum atributo e subatributo das árvores pode ser removido, pois descaracterizaria a teoria implícita (Udaeta, 1997, 2012), e todos os REs devem utilizar os mesmos algoritmos na avaliação (Udaeta *et al.*, 2016). Por exemplo, a valoração do atributo VPL, da DTEC, intui que o algoritmo implícito é o do Valor Presente Líquido, mas nesta tese e, por acuracidade e facilidade (dado o contexto de IET), é via algoritmo do LCOE (*levelized cost of energy*).

Portanto, a saída do módulo de DPC-IET tem caráter multidimensional, qualitativo e quantitativo, e fornece uma visão matricial e de cunho holístico dos potenciais dos REs, de modo a orientar o processo de decisão dos En-Ins (Baitelo, 2011) pela inserção ou não de um RE transnacional no seu PELP para atendimento da sua demanda projetada.

A matriz resultante $[DPC - IE]_{i,j}$, de dimensão $i \times j$, formada por um conjunto de elemento $d_{i,j}$, em que $j = 4$ colunas, uma para cada dimensão (DAMB, DPOL, DSOC e DTEC), e $i = 1, \dots, I_{th}$ linhas, uma para cada RE avaliado, ver Equação (6). Na organização matricial sugere-se a segregação dos RELDs e RELOs. Por exemplo, para uma matriz $[DPC - IE]_{6,4}$, organizar os RELOs com $i = 1, \dots, 4$ e os RELDs de $i = 5, 6$, ver Equação (7).

$$[DPC - IE]_{i,j} = [DPC - IE]_{i,4} = \begin{bmatrix} d_{1,1} & d_{1,2} & d_{1,3} & d_{1,4} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{i,1} & d_{i,2} & d_{i,3} & d_{i,4} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$[DPC - IE]_{i,4} = \begin{bmatrix} DAMB_{1,1} & DPOL_{1,2} & DSOC_{1,3} & DTEC_{1,4} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ DAMB_{4,1} & DPOL_{4,2} & DSOC_{4,3} & DTEC_{4,4} \\ DAMB_{5,1} & DPOL_{5,2} & DSOC_{5,3} & DTEC_{5,4} \\ DAMB_{6,1} & DPOL_{6,2} & DSOC_{6,3} & DTEC_{6,4} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Todos os elementos $d_{i,j}$ da matriz resultante $[DPC - IE]_{i,j}$ são matrizes independentes $[D]_{i,k}$ de dimensão $i \times k$ formada por $k = 1, \dots, K_{th}$ colunas, uma para cada atributo ou subatributo (at) da dimensão, e i linhas de atributos e subatributos avaliados, neste caso $i = i_D = i_{DPC-IE}$, ver Equação (8).

$$[D]_{i,k} = \begin{bmatrix} at_{1,1} & \cdots & at_{1,k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ at_{i,1} & \cdots & at_{i,k} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Como descrito, cada at possui o seu próprio algoritmo, alguns são formulações matemáticas com saídas $\in \mathbb{R}$ e outros são rotinas com saídas descritivas. A apresentação desses algoritmos é discriminada e sistematizada em sua dimensão intrínseca nos Capítulos 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 e 4.3.4.

4.3.1 Dimensão ambiental

A DAMB relaciona os impactos dos sistemas energéticos, desde a obtenção e produção do RE até o seu uso final, no meio ambiente, por meio da valoração das condições biológicas, físicas e químicas nos seus três meios fundamentais - aéreo, terrestre e aquático (Baitelo, 2011), os quais são notadamente contabilizados pela metodologia de análise do ciclo de vida (Ivner *et al.*, 2010; Bravo and Ferrer, 2011; Buker, Mempoou and Riffat, 2014; Aman *et al.*, 2015; Chiu *et al.*, 2015; Schaubroeck *et al.*, 2015; Dinato *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2019; Bottero, Dell'Anna and Morgese, 2021; Buchmayr *et al.*, 2021).

Porém, na metodologia desenvolvida nesta tese, essa avaliação é realizada por meio de algoritmos que utilizam abordagem analítica do tipo *bottom-up* para valorar os diversos atributos e subatributos vinculados a essa dimensão.

A árvore da DAMB, ver Figura 18, possui sete atributos e onze subatributos at , distribuídos entre os três meios. Quatro atributos não têm ramificações e três apresentam onze ramificações. A matriz $[DAMB]_{i,k}$ é de dimensão $i \times k$ formada por $k = 1, \dots, K_{th}$ colunas, uma para cada at , e $i = 1, \dots, I_{th}$ linhas de RE avaliados, ver Equação (10).

$$D_{i,1} = DAMB_{i,1} \therefore [D]_{i,k} = [DAMB]_{i,k} \quad (9)$$

$$[DAMB]_{i,k} = \begin{bmatrix} Amb_{1,1} & \cdots & Amb_{1,k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Amb_{i,1} & \cdots & Amb_{i,k} \end{bmatrix} \quad (10)$$

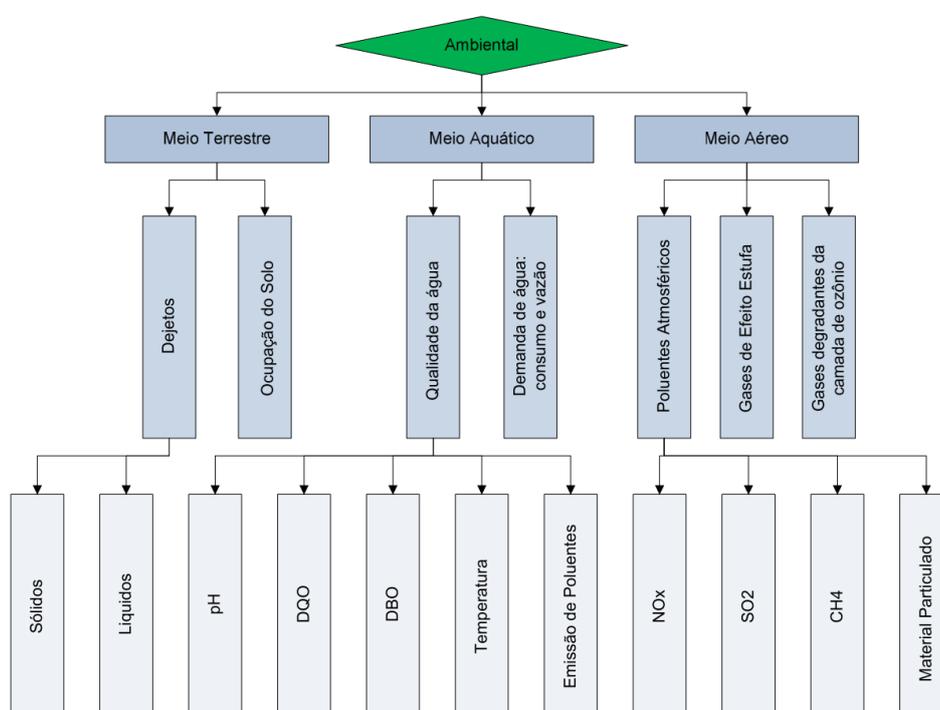


Figura 18. Árvore de atributos e subatributos da DAMB.

Fonte: Rigolin (2013).

4.3.1.1 Algoritmo do atributo poluentes atmosféricos

O atributo *Poluentes Atmosféricos* é primordial para o meio aéreo, pois a partir dele se valoram as emissões aéreas da cadeia energética inserida na região avaliada, e todos os outros atributos vinculados a este meio. Ou seja, nesse atributo são contabilizadas também as emissões dos outros dois atributos (gases de efeito estufa e gases degradantes da camada de ozônio). Este at é o elemento $Amb_{i,1}$ da matriz $[DAMB]_{i,k}$ e corresponde à matriz resultante $[Amb]_{l,m}$, sendo $l = 1, \dots, L_{th}$ o número

de linhas correspondentes ao tipo de poluente e $m = 1, \dots, M_{th}$ o número de colunas referentes à atividade da cadeia energética.

O algoritmo é uma rotina definida por: (i) identificação dos m processos envolvidos na cadeia energética, dentro da região z avaliada; (ii) identificação da demanda de energia vinculada a cada um dos processos EP , calculados ou medidos, e consolidados na matriz $[EP]_{l,m}$ em kWh_{proc} ou tep_{proc} ; (iii) contabilização das emissões relativas de cada processo, pela relação da massa de poluentes emitidos em função da energia produzida (g/kWh_{proc} e g/tep_{proc}) e utilizando a matriz $[Emi]_{m,1}$; e (iv) determinação das emissões totais pela multiplicação das emissões relativas pela energia gerada de acordo com a capacidade instalada do RE, avaliado num período t , ver Equação (13). Sua saída é uma matriz $[Amb]_{l,1}$.

$$at_{i,k} = Amb_{i,1} = [Amb]_{l,m} \quad (11)$$

$$[Amb]_{l,m} = [EP \times Emi]_{l,m} = [Amb]_{l,1} \quad (12)$$

$$[Amb]_{l,m} = \sum_{l=1}^{L_{th}} \sum_{m=1}^{M_{th}} \sum_{z=1}^1 EP_{l,m,z,t} \cdot Emi_{m,1} \quad \forall t \quad (13)$$

Vale mencionar que o potencial de impacto das emissões atmosféricas está relacionado a fatores climatológicos e geográficos (umidade do ar, temperatura ambiente, velocidade do vento, radiação solar, topografia, altitude), bem como aos poluentes secundários, os mais variados, resultantes dos processos de transformação, ou seja, da dispersão de poluentes e, por sua vez, os impactos diretos e indiretos podem variar na geografia para um mesmo RE implantado.

4.3.1.2 Algoritmo do atributo gases do efeito estufa

O atributo *Gases de Efeito Estufa* valora as emissões antropogênicas de GEE vinculadas aos processos da cadeia energética. É primordial computar os GEE, da cadeia energética, segregados por território nacional, dado o comprometimento de alguns países pela redução das emissões de GEE, utilizando o mecanismo intitulado NDC (Mathy, Menanteau and Criqui, 2018; IRENA, 2020), estabelecido a partir do Acordo de Paris (UN, 2015; UNFCCC, 2020), o qual, muitas vezes, o comprometimento nacional é justamente com a descarbonização do setor energético

(Gonçalves *et al.*, 2018; Simsek *et al.*, 2019; European Commission, 2020; Nina, 2020; Peyerl, 2021),

Diferentemente da valoração do atributo *Poluentes Atmosféricos*, em que a emissão total é única para toda a região avaliada. As emissões de GEE (ex.: resultantes da extração e processamento de GN utilizado para exportação para um país fronteiriço), deve ser internalizada no país exportador. Neste caso é necessário segregar a cadeia energética do RE por países, para que o país importador não compute emissões de GEE fora do seu território nacional.

O algoritmo do atributo *at*, é o elemento $Amb_{i,2}$ da matriz $[DAMB]_{i,k}$, quantifica o potencial de aquecimento global dos GEE (Myhre *et al.*, 2013; IPCC, 2014, 2018) contidos nas emissões totais valoradas no atributo de poluentes atmosféricos. O algoritmo extrai apenas os elementos relacionados aos GEE da matriz $[Amb]_{l,1}$ multiplicando-os pelos seus respectivos fatores de potencial de aquecimento global (GWP), representados pela matriz $[GWP]_{1,n}$, formada por $i = 1$ linha e por $n = 1, \dots, N_{th}$ colunas, uma para cada GWP (IPCC, 2014). A saída é um valor absoluto de emissão em massa de CO₂ equivalente no período t para as $z = 1, \dots, Z_{th}$ regiões avaliadas, ver Equação (16).

$$at_{i,k} = Amb_{i,2} \quad (14)$$

$$Amb_{i,2} = [Amb]_{l,n} = [Amb]_{l,1} \times [GWP]_{1,n} \quad (15)$$

$$[Amb]_{l,n} = \sum_{l=1}^{L_{th}} \sum_{n=1}^{N_{th}} \sum_{z=1}^{Z_{th}} Amb_{l,n,z,t} \times GWP_n \quad \forall t \quad (16)$$

4.3.1.3 Algoritmo do atributo gases degradantes da camada de ozônio

O atributo *Gases Degradantes da Camada de Ozônio* (GDCO) é valorado no atributo poluentes atmosféricos. Este *at* é o elemento $Amb_{i,3}$ da matriz $[DAMB]_{i,k}$, e apenas segrega e ordena os valores quantificados anteriormente em uma matriz $[Amb]_{l,m}$, formada por $l = 1, \dots, L_{th}$ linhas, correspondentes ao tipo GDCO, e $m = 1, \dots, M_{th}$, o número de colunas referentes aos processos da cadeia energética.

4.3.1.4 Algoritmo do atributo captação e consumo de recursos hídricos

O atributo *Captação e Consumo de Recursos Hídricos* at é o elemento $Amb_{i,4}$ da matriz $[DAMB]_{i,k}$ e pertence ao meio aquático. Seu algoritmo valora a depleção (consumo) dos recursos hídricos, água superficiais e subterrâneas, por meio da diferença entre o volume captado de água CAP e posteriormente reposição Dev (m^3/kWh) em todos os m processos da cadeia energética, multiplicada pela energia gerada Ep (kWh) do RE na região z avaliada. A saída é uma matriz $[Amb]_{l,1}$ com valores absolutos formada por $l = 1, \dots, L_{th}$ linhas, uma para cada tipo de RE, e $n = 1$ coluna, representando o volume total de água consumido nos processos da cadeia energética do RE, ver Equação (18).

$$at_{i,k} = Amb_{i,4} = [Amb]_{l,n} \quad (17)$$

$$[Amb]_{l,n} = \sum_{l=1}^{L_{th}} \sum_{m=1}^{M_{th}} \sum_{z=1}^1 (Cap_{l,m,z,t} - Dev_{l,m,z,t}) \times Ep_l \quad \forall t \quad (18)$$

4.3.1.5 Algoritmo do atributo qualidade da água

O atributo *Qualidade da Água* é o elemento $Amb_{i,5}$ da matriz $[DAMB]_{i,k}$ e também pertencente ao meio aquático. O algoritmo deste at valora, por meio de medição ou cálculo, a variação dos parâmetros (Par) - temperatura ($^{\circ}C$), pH, demanda química e bioquímica de oxigênio (DQO e DBO) e demais poluentes (g/l) líquidos - descartados em corpos d'água na região z em função da energia produzida Ep (kWh) em cada processo m da cadeia energética do RE avaliado, ver Equação (21). No caso de parâmetros que não são expressos em concentrações, como o parâmetro temperatura representado pelo elemento $T_{l,n}$ da matriz $[Amb]_{l,n}$, o valor calculado na Equação (21) é dividido pelo volume total ($V_{l,n}$) do corpo d'água receptor do resíduo, ver Equação (22).

$$at_{i,k} = Amb_{i,5} = [Amb]_{l,n} \quad (19)$$

$$Par = IND \times FD_l \quad (20)$$

$$[Amb]_{l,n} = \sum_{l=1}^{L_{th}} \sum_{m=1}^{M_{th}} \sum_{z=1}^1 Par_{l,m,z,t} \times Ep_l \quad \forall t \quad (21)$$

$$[Amb_T]_{l,n} = \left[\frac{T}{Vol} \right]_{l,n} \quad (22)$$

Em que, *IND* representa o parâmetro de qualidade do efluente líquido avaliado e *FD* é o fator de descarga deste efluente calculado pela relação entre o seu volume descartado pela energia reproduzida pelo RE (Baitelo, 2011).

4.3.1.6 Algoritmo do atributo ocupação do solo

O atributo *Ocupação do solo* é o elemento $Amb_{i,6}$ da matriz $[DAMB]_{i,k}$ e pertence ao meio terrestre. Seu algoritmo valora a ocupação do solo das diversas cadeias de processos m dos sistemas energéticos (área da usina, reservatórios, LT, subestação). O cálculo desse atributo mede a razão entre a *CI* ou a energia produzida (*EP*) do RE pela área total (A) ocupada pelos $m = 1, \dots, M_{th}$ processos da cadeia energética a região z do RE avaliado, ver Equação (24). A saída é um valor absoluto segregado por região nacional ou global e que representa a capacidade de geração ou potência instalada por área ocupada em cada região nacional pelo RE avaliado.

$$at_{i,k} = Amb_{i,6} = [Amb]_{l,n} \quad (23)$$

$$[Amb]_{l,n} = \sum_{l=1}^{L_{th}} \sum_{m=1}^{M_{th}} \sum_{z=1}^1 (CI \text{ ou } EP)_{l,m,z,t} / A_{l,m,z,t} \quad \forall t \quad (24)$$

4.3.1.7 Algoritmo do atributo poluição e degradação do solo

O atributo *Poluição e Degradação do Solo (PDS)*, também pertencente ao meio terrestre, e é o elemento $Amb_{i,7}$ da matriz $[DAMB]_{i,k}$. Neste atributo é calculada a razão entre o fator de produção de resíduos sólidos e de solo deslocado (*FRS*) pela capacidade instalada (*CI*) ou a energia produzida (*EP*) do RE ao longo dos processos m da cadeia energética em suas diversas regiões nacionais para o RE avaliado, ver Equação (26).

$$at_{i,k} = Amb_{i,7} = [Amb]_{l,n} \quad (25)$$

$$[Amb]_{l,n} = \sum_{l=1}^{L_{th}} \sum_{m=1}^{M_{th}} \sum_{z=1}^1 FRS_{l,m,z,t} / (CI \text{ ou } EP)_{l,m,z,t} \quad \forall t \quad (26)$$

4.3.2 Dimensão política

A DPOL caracteriza e valora de forma isonômica um conjunto de acepções qualificadas para minimizar conflitos e orientar os múltiplos interesses dos En-Ins no processo de consenso (convergência de anseios) e decisão pela implementação de um RE no CP e LP⁵⁴.

Os atributos da DPOL são elementos matriciais subjetivos e valorados essencialmente de forma descritiva qualitativa. A metodologia dessa valoração tem abordagem analítica, do tipo *bottom-up*, e parte do mapeamento das forças e tendências políticas, por meio da estratificação de En-Ins visando o estabelecimento da paisagem atual acerca da convergência de interesses desses agentes, e do levantamento de políticas públicas, fundamentadas nos instrumentos políticos e institucionais – locais, nacionais, regionais e internacionais - de apoio e incentivo a implantação de RE.

Posteriormente, os elementos brutos são refinados por algoritmos do tipo rotinas, e não funções matemáticas. A saída são elementos organizados em forma de matrizes contendo o nível de consenso dos En-Ins, execução de políticas de IE, regulações e programas de incentivo ao RE, caracterização da propriedade do RE e disponibilidade para comercialização internacional.

A árvore da DPOL, ver Figura 19, possui cinco atributos e nove subatributos *at*. Todos os atributos possuem ramificações – subatributos. A matriz $[DPOL]_{i,k}$ é de dimensão $i \times k$, formada por $k = 1, \dots, K_{th}$ colunas, uma para cada *at*, e $i = 1, \dots, I_{th}$ linhas de REs avaliados, ver Equação (28).

$$D_{i,2} = DPOL_{i,2} \therefore [D]_{i,k} = [DPOL]_{i,k} \quad (27)$$

$$[DPOL]_{i,k} = \begin{bmatrix} Pol_{1,1} & \cdots & Pol_{1,k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Pol_{i,1} & \cdots & Pol_{i,k} \end{bmatrix} \quad (28)$$

⁵⁴ Em alguns casos, a implantação de um RE implica em uma cadeia energética *greenfield*, a qual não há histórico e percepção pública endógena, apenas experiências externas e muitas vezes com ponto de vista culturalmente distintos, que impactam na aceitação ou não de novas tecnologias (Hope and Jones, 2014), especialmente em residentes de países em desenvolvimento (Ampofo and Mabefem, 2021).

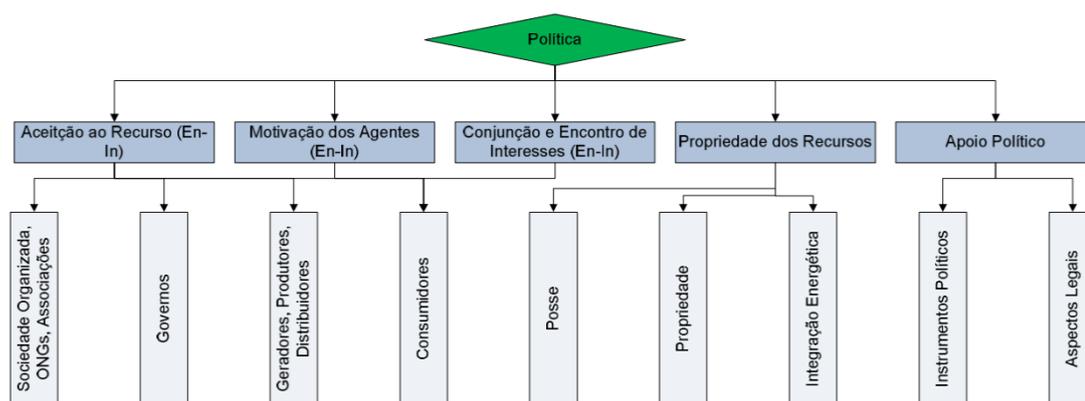


Figura 19. Árvore de atributos e subatributos da DPOL.

Fonte: Rigolin (2013).

4.3.2.1 Algoritmo do atributo disponibilidade dos recursos energéticos

O atributo *Disponibilidade dos Recursos Energéticos* ditará se é ou não factível a IET de rede no CP ou no LP, por meio de três subatributos - *Posse*, *Propriedade* e *Integração Energética* – que valoram a cadeia energética m de um RE nas diferentes regiões z avaliadas (Silva *et al.*, 2018), ou seja, valoram em sua totalidade o potencial de exportação, DIE_i , de RE de um país a outro, utilizando uma rotina sequencial de avaliação de informações quantitativas e qualitativas, com posterior conversão e padronização discretizada (Fujii, 2006; Baitelo, 2011; Udaeta, 2012; Rigolin, 2013; Silva *et al.*, 2018).

O algoritmo do subatributo *Posse*, elemento $Pol_{i,1}$ da matriz $[DPOL]_{i,k}$, valoram os m processos da cadeia energética do RE utilizando uma rotina de processo consistindo na identificação e mapeamento do direito fundamental da fonte, nos marcos legais locais e regionais, e os classificando como livre - radiação solar e intensidade do vento, pois inexistem posse do insumo energético -, usos múltiplos – bacias hidrográficas e águas costeiras que possuem função social ampla, servindo de recurso fundamental para diversos setores socioeconômicos, abrangendo desde o consumo humano e irrigação, até como modal de transporte e geração de energia -, público – varia com a regulação e a constituição dos estados nacionais avaliados, mas em geral as fontes minerais e hidrocarbonetos pertencem a União (STF, 2007; EPE, 2018b; Oliveira da Silva *et al.*, 2021) -, e privada – biomassa e resíduos (sólidos, líquidos e gasosos), a posse da fonte pertence ao local onde ela é produzida ou explorada. Obtendo como saída o mapeamento da posse da fonte na região z avaliada

e o seu potencial teórico de utilização pela avaliação de restrições comerciais e políticas.

O algoritmo do subatributo *Propriedade*, elemento $Pol_{i,2}$ da matriz $[DPOL]_{i,k}$, valora os m processos da cadeia energética do RE utilizando uma rotina de processo para determinar: (i) quem detém a propriedade da fonte e serviços correlatos, ou seja, o direito de aproveitamento e exploração do RE, uma vez que a posse e a propriedade da fonte pode ser de agentes ou entes distintos, como no caso de fontes minerais e hídricas, em que a fonte é de posse do Estado e o concessionário (privado, estatal, empresa mista, estrangeira) tem propriedade do produto e da sua exploração (STF, 2007).

A pesquisa da propriedade é realizada em documentos técnico-científicos e nos marcos legais locais e regionais, e a valoração pela atribuição de indicadores *Privado* – empresa de capital fechado ou aberto, sem a participação do estado -, *Estatual* – empresa pública -, *Empresa de Economia Mista (EEM)* – empresa com capital misto, em que grupos privados, pessoas físicas e o Estado participam do controle acionário, neste caso, o Estado pode ou não ter decisão majoritária sobre a gestão e estratégia da empresa -, *Estrangeira* – a propriedade da fonte pode ser de empresas privadas, estatais e mistas, porém o produto ou serviço explorado em sua integridade e exportado; e (ii) do domínio da tecnologia de aproveitamento, descrevendo o grau de disponibilidade e independência técnica, econômica da cadeia energética de extração, transporte e transformação da fonte como sendo nacional, regional⁵⁵ e internacional. Obtendo como saída o mapeamento da propriedade do RE na região z avaliada e o potencial realizável (refinamento do potencial teórico).

O algoritmo do subatributo *Integração Energética*, elemento $Pol_{i,3}$ da matriz $[DPOL]_{i,k}$, valora os m processos da cadeia energética necessários para e efetivação de uma IET de rede entre regiões z_n de dois ou mais países e a qualidade das relações existentes entre eles, ou seja, mensura e pondera as relações diplomáticas e geopolíticas – relacionadas a perenidade do fornecimento, do lado exportador, e da segurança energética de abastecimento, do lado importador, galgados no cumprimento e estabilidade dos acordos e contratos bilaterais ou multilaterais de LP

⁵⁵ Entende-se por regional, a região (z) avaliada no processo de integração energética. Exemplo: um país A (z_A) que exporta GN para um país B (z_B), a partir de um gasoduto terrestre transfronteiriço, o regional será dado por $z = z_A + z_B$.

– e os fatores técnicos – complexidade de extração e transporte dos REs, compartilhamento de tecnologias e infraestruturas (Baitelo, 2011).

Essa valoração é uma rotina que inclui indicadores de: (i) qualidade diplomática – existência e reciprocidade de embaixadas ou representação diplomática -; (ii) participação mútua em organismos multilaterais – sim (quantidade) ou não -; (iii) caso sim para (ii), que tipos de organismos – comerciais, jurídicos, *ad hoc*, energético, etc -; (iv) existência de acordos e regramentos energéticos; (v) localização das fontes energéticas; (vi) existência de infraestrutura de rede energética transnacional, considerando as limitações de fontes e sistemas de infraestrutura, que influenciam capacidades máximas e mínimas de geração e transporte de energia; (vii) tipos de contratos de comercialização energética existentes; (viii) qualidade do comércio de energia - período de operação, perenidade e intermitência do fornecimento, renegociação de contratos, ou seja, riscos contratuais; (ix) ampliação do comércio de RE existente; (x) compartilhamento de UGs existentes; (xi) comércio de tecnologias vinculadas a cadeia energética. Obtendo como saída a medição dos riscos contratuais, políticos, econômicos e os benefícios mútuos das regiões z_n avaliadas e o potencial de mercado (refinamento do potencial realizável).

4.3.2.2 Algoritmo do atributo apoio político

O atributo *Apoio Político* identifica e valora os mecanismos relacionados às políticas públicas e aos custos e tempos, vinculados ao âmbito legal, de incentivos a implantação e expansão da cadeia energética m de um RE, por faixa de capacidade instalada, nas diferentes regiões z_n e ao longo do tempo t . Este atributo possui duas ramificações, os subatributos – *Instrumentos Políticos* e *Aspectos Legais*.

O algoritmo do subatributo *Instrumentos Políticos*, elemento $Pol_{i,4}$ da matriz $[DPOL]_{i,k}$, valora os m processos da cadeia energética de cada RE utilizando uma rotina de processo consistindo em: (i) identificação da estrutura jurídica e regulatória do setor energético dos países analisados; (ii) identificação e mapeamento dos tipos de política pública de incentivo a implementação e expansão de RE – financeira, regulatória, leilões, etc.; (iii) caracterização das políticas públicas em termos de geografia locacional (jurisdição), tipo de fonte, tecnologia de aproveitamento e faixa de potência; e (iv) determinação do potencial teórico do subatributo pela identificação das metas de implantação e expansão (MW, MWh), duração do instrumento,

condições contratuais (duração, remuneração, propriedade). A saída do subatributo $Pol_{i,4}$ é a determinação do potencial realizável, valorado em termos de MW ou MWh, de implantação e expansão de um RE via instrumentos de política pública e consolidados em uma matriz $[Pol_{i,4}]_{i,k}$, i linhas, de RE, e k colunas, de potencial realizável, para cada m processo da cadeia energética do RE avaliado.

O algoritmo do subatributo *Aspectos legais*, elemento $Pol_{i,5}$ da matriz $[DPOL]_{i,k}$, valora os tempos e custos totais médios previstos, com base em projetos similares, para a aprovação das n etapas dos procedimentos legais e licenciamentos vinculados aos m processos da cadeia energética de um RE, por meio de uma rotina de processo consistindo em: (i) identificação e caracterização dos tipos e números de agências e órgãos governamentais envolvidos no processo de aprovação das n etapas; (ii) identificação e cálculo do tempo total previsto para a tramitação e expedição de licenças, com discriminação dos T_{th} tempos de cada procedimento – elaboração da documentação, tramitação, aprovação de documentação e expedição de licenças, ver Equação (31); e (iii) cálculo do custo total C_{th} de cada etapa identificada em ii mais os custos previstos com a elaboração dos estudos e efetivação dos programas e projetos de compensação ambiental e social, ver Equação (32). A saída do subatributo $Pol_{i,5}$ é a determinação do tempo total, em anos, e custo total previsto, em moeda corrente (USD/MW, USD/MWh ou USD), da implantação e expansão de um RE consolidados em uma matriz $[Pol_{i,5}]_{i,k}$, i linhas de RE e $k = 1,2$, em que $k = 1$ é o tempo total e $k = 2$ o custo total (USD/MW, USD/MWh ou WSD).

$$Pol_{i,5} = [Pol]_{i,k} \quad (29)$$

$$[Pol]_{i,k} = f(T, C) \therefore [Pol]_{i,k} = \begin{bmatrix} t_{1,1} & c_{1,2} \\ \vdots & \vdots \\ t_{i,1} & c_{i,2} \end{bmatrix} \quad (30)$$

$$t_{i,1} = Pol_{i,1} = \sum_{i=1}^{I_{th}} \sum_{m=1}^{M_{th}} \sum_{z=1}^{Z_{th}} \sum_{t=1}^{T_{th}} T_{i,m,z,t} \quad (31)$$

$$c_{i,2} = Pol_{i,2} = \sum_{i=1}^{I_{th}} \sum_{m=1}^{M_{th}} \sum_{z=1}^{Z_{th}} \sum_{c=1}^{C_{th}} C_{i,m,z,c} \quad (32)$$

Em que $i = 1, \dots, I_{th}$ RE avaliados, $m = 1, \dots, M_{th}$ processos da cadeia energética do RE, $z = 1, \dots, Z_{th}$ regiões abrangidas pela cadeia energética, $t = 1, \dots, T_{th}$ e $c = 1, \dots, C_{th}$ são o tempo e os custos de cada etapa dos procedimentos legais e licenciamentos, respectivamente.

4.3.2.3 Algoritmo do atributo *Envolvidos e Interessados*

O atributo *Envolvidos e Interessados* valora a interação dos En-In durante o processo de avaliação da viabilidade da implantação, expansão e descomissionamento de uma etapa ou da completude da cadeia energética de um RE, por meio de três subatributos – *Grau de aceitação*, *Grau de motivação* e *Conjunção de Interesses*, elementos $Pol_{i,6}$, $Pol_{i,7}$ e $Pol_{i,8}$ da matriz $[DPOL]_{i,k}$, respectivamente – avaliados e valorados em paralelo com informações qualitativas e notadamente subjetivas. Esse atributo é preponderante para verificar a aceitação social dos grupos mobilizados e a qualidade de vida dos afetados, positivamente ou negativamente, pela cadeia energética.

A valoração desses subatributos segue uma rotina de processo, sistematicamente utilizado em consultas e audiências públicas para avaliação e alterações regulatórias e implantação de políticas públicas do setor energético (Silva *et al.*, 2020a; T., Tomazini *et al.*, 2021), que: (i) parte da utilização do mapeamento dos En-Ins realizado no modulo 01 - *Identificação dos En-In*; (ii) valoração da influência, relativa entre os diferentes tipos de En-Ins, na tomada de decisão; (iii) realização de oficinas para apresentação da metodologia e das características, positivas e negativas, dos REs disponíveis para a valoração; (iv) aplicação de questionários, previamente elaborados, ao final das oficinas; (v) consolidação das respostas por tipo de En-Ins; e (vi) apreciação dos interesses particulares, da pluralidade dos argumentos, culturas e crenças de cada grupo visando a determinação das suas interações e intersecções.

A saída desses subatributos apresenta a descrição, segregada por tipo de En-In e com seus respectivos pesos relativos na tomada de decisão, da motivação e os interesses dos diferentes agentes envolvidos na aceitação do RE, em suas múltiplas cadeias energéticas. O ideal são todos os En-Ins ou pelos menos os diretamente interessados possuam um consenso acerca das condições de implantação de um RE (Baitelo, 2011; Aksen, 2014; Nian, 2017), uma vez que os En-Ins chave podem ser

um obstáculo potencialmente intransponível, condição esta que dificilmente será ultrapassada pela aceitação dos outros En-Ins, impactando nos custos e prazos aceitáveis a viabilização comercial de um RE.

4.3.3 Dimensão social

A DSOC é um processo de levantamento e determinação de indicadores que evidenciam e valoram os impactos - diretos, indiretos, positivos e negativos - da cadeia energética dos diferentes REs avaliados na qualidade de vida da sociedade no CP e no LP.

Os atributos da DSOC são elementos matriciais heterogêneos, pois apresentam características subjetivas - valoradas de forma descritiva qualitativa por meio de algoritmos do tipo rotina de processo – e objetivas – valoradas quantitativamente por algoritmos matemáticos.

A metodologia dessas valorações tem abordagem analítica, do tipo *bottom-up*, que mapeia as alterações do meio ambiental sobre o meio social devido a utilização de um RE - valorando os impactos sobre a saúde humana e na produção de alimentos primários -, a interferência da cadeia energética nas populações diretamente afetadas – valorando os deslocamento de populações, devido a construção e operação de infraestruturas, e a alteração da percepção de conforto, medida em relação a poluição olfativa, sonora, visual e outras perturbações – e, por fim, as alterações diretas e indiretas no meio social - valorando os impactos dos REs no desenvolvimento socioeconômico correlato as regiões avaliadas. A saída da DSOC são elementos organizados em matrizes contendo os impactos valorados do meio social.

A árvore da DSOC, ver Figura 20, possui cinco atributos e dez subatributos. Quatro atributos possuem ramificações – subatributos. A matriz $[DSOC]_{i,k}$ é de dimensão $i \times k$, formada por $k = 1, \dots, K_{th}$ colunas, uma para cada at , e $i = 1, \dots, I_{th}$ linhas de REs avaliados, ver Equação (34).

$$D_{i,3} = DSOC_{i,3} \therefore [D]_{i,k} = [DSOC]_{i,k} \quad (33)$$

$$[DSOC]_{i,k} = \begin{bmatrix} Soc_{1,1} & \cdots & Soc_{1,k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Soc_{i,1} & \cdots & Soc_{i,k} \end{bmatrix} \quad (34)$$

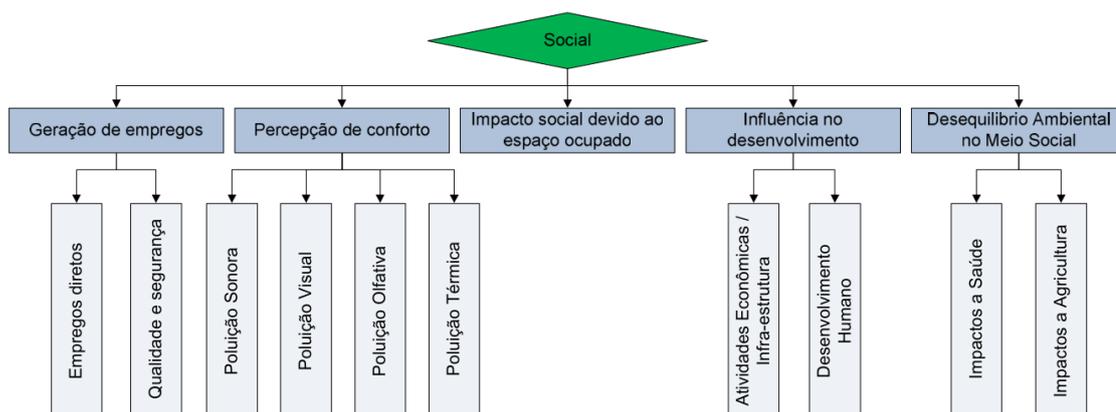


Figura 20. Árvore de atributos e subatributos da DSOC.

Fonte: Rigolin (2013).

4.3.3.1 Algoritmo do atributo alteração ambiental no meio social

O atributo *Alteração Ambiental no Meio Social*, elemento $Soc_{i,1}$ da matriz $[DSOC]_{i,k}$, valora os impactos da cadeia energética de um RE na saúde humana em decorrência da poluição atmosférica, contaminação do solo, da água e dos alimentos. O algoritmo é uma rotina de processo que: (i) identifica as taxas de morbidade e mortalidade da região avaliada pré-implantação da infraestrutura energética, dados censitários; (ii) identifica, por meio de indicadores disponíveis na literatura, as taxas de morbidade e mortalidade associadas a implantação e operação da cadeia do RE; (iii) segrega essas taxas por tipo de condicionante – e.g.: aumento de patógenos em decorrência de desmatamento e mudanças do uso do solo, exposição a substâncias tóxicas e radioativas absorvidas por contato físico, inalação ou ingestão – e por tipo de meio – aéreo, aquático e terrestre.

A saída do algoritmo apresenta um mapa com dados quantitativos dos impactos das alterações ambientais, por tipo de meio, na saúde humana para as diferentes regiões vinculadas a cadeia energética, com possibilidade determinar a variação da morbidade e mortalidade regional pré e pós-implantação de um RE, auxiliando os En-Ins na tomada de decisão e na elaboração dos mecanismos de redução de impactos e danos.

4.3.3.2 Algoritmo de impacto social decorrente da ocupação espacial

O atributo *Impacto Social Decorrente da Ocupação Espacial (ISDOE)*, elemento $Soc_{i,2}$ da matriz $[DSOC]_{i,k}$, valora o impacto social resultante do deslocamento populacional do ponto de vista do número de pessoas deslocadas e do custo total de reassentamento e indenizações vinculadas as m atividades da cadeia energética

(área de mineração, plantio, implantação, operação, faixa de servidão) de um RE em todas as z_n regiões que ela se insere.

Esse atributo varia com o relevo da área, como tipo e a escala do RE. No meio rural, onde geralmente estão inseridas as atividades de exploração de fontes energéticas e da implantação das UGs, esse impacto é manifesto (Bomfim, 1999; Mendes, 2005; Fearnside, 2014, 2015a, 2015b), já no meio urbano tende a ser sutil, quando em decorrência da implantação ou expansão das subestações e linhas de distribuição de energia elétrica, porém, pode ter caráter retumbante, dado a escala do projeto e o relevo implícito (Lopes, 2013), quando populações inteiras são deslocadas e reassentadas e a cidade é submersa pelo reservatório de água (Amaral and Santos, 2018).

O algoritmo do atributo ISDOE consiste numa rotina de processo que: (i) estima a área ocupada (A) pelas m etapas da cadeia do RE avaliado, ver Equação (37); (ii) identifica a densidade populacional ($Dens$) da área a ser ocupada pelas m etapas da cadeia energética, ver Equação (38); (iii) estima a quantidade de pessoas deslocadas em relação a densidade populacional, ver Equação (39); (iv) identifica as características do processo de desapropriação e deslocamento das populações afetadas, as quantificando pelos critérios - remoção acordada e forçada, perdas socioculturais, históricas e arqueológicas – e as condições de reassentamento considerando – readaptação da população, qualidade de vida e desenvolvimento social; e (v) calcula as indenizações caracterizadas no processo (iii), ver Equação (40). A saída do algoritmo é uma matriz $ix2$ contendo a quantidade de pessoas deslocadas pela densidade da população total da região avaliada e os custos totais de reassentamento e indenizações.

$$Soc_{i,k} = [Soc]_{i,k=2} \quad (35)$$

$$[Soc]_{i,2} = \begin{bmatrix} Pop_{1,1} & C_{Des_{1,2}} \\ \vdots & \vdots \\ Pop_{i,1} & C_{Des_{i,2}} \end{bmatrix} \quad (36)$$

$$A_i = \sum_{i=1}^{I_{th}} \sum_{m=1}^{M_{th}} \sum_{z=1}^{Z_{th}} A_{i,m,z} \quad (37)$$

$$Dens_i = \sum_{i=1}^{I_{th}} \sum_{m=1}^{M_{th}} \sum_{z=1}^{Z_{th}} Dens_{i,m,z} \quad (38)$$

$$Pop_{i,1} = \sum_{i=1}^{I_{th}} \sum_{m=1}^{M_{th}} \sum_{z=1}^{Z_{th}} \sum_{p=1}^{P_{th}} \frac{Pop_{i,m,z,p}}{Dens_i} \quad (39)$$

$$C_{Desi,2} = \sum_{i=1}^{I_{th}} \sum_{m=1}^{M_{th}} \sum_{z=1}^{Z_{th}} \sum_{c=1}^{C_{th}} C_{i,m,z,c} \quad (40)$$

Em que $i = 1, \dots, I_{th}$ REs avaliados, $m = 1, \dots, M_{th}$ processos da cadeia energética do RE, $z = 1, \dots, Z_{th}$ regiões abrangidas pela cadeia energética, $p = 1, \dots, P_{th}$ e $c = 1, \dots, C_{th}$ são as populações deslocadas e os custos de reassentamento e indenizações de cada etapa, respectivamente.

4.3.3.3 Algoritmo do atributo alteração de percepção de conforto

O atributo *Alteração de Percepção de Conforto (APC)*, $Soc_{i,3}$ da matriz $[DSOC]_{i,k}$, valora a percepção pública relacionada a implantação e operação de projetos energéticos na alteração do conforto das populações residentes ou transeuntes das z_n regiões, onde as m atividades da cadeia energética de um RE estão inseridas, utilizando os subatributos de percepção – *Olfativa*, *Sonora*, *Visual* e *Térmica*. Este atributo é primordial para o processo de seleção do local de implantação de um projeto, pois antecipa, e pode evitar, o fenômeno “*Not in My Back Yard (NIMBY)*” que tende a dificultar e até mesmo inviabilizar a execução do projeto (Xu and Lin, 2020; Cong *et al.*, 2021).

A determinação de índices de APC em termos numéricos não é plenamente satisfeita para os quatro subatributos, pois alguns são determinados de forma subjetiva, dificultando a construção de parâmetros quantitativos. A produção desses índices incide, invariavelmente, em pesquisa de campo junto a uma amostragem das populações afetadas por projetos similares, onde é possível aferir qualitativamente a percepção de conforto e, posteriormente transformá-la em valores absolutos, para comparação com padrões médios de tolerância ou legais quando possível (Baitelo, 2011; Enríquez, Garrido and Sanabria, 2019).

Portanto, a valoração desses subatributos é realizada por uma rotina que: (i) identifica a localização das m atividades da cadeia energética de um RE e as populações residentes e transeuntes dessas áreas; (ii) identifica, estima ou mede os parâmetros locais de odor (IO_M), ruído (IR_M), visual (IV_M), temperatura dos meios aéreo e aquático (IT_M); (iii) determina índices, quantitativos ou qualitativos, baseados nos parâmetros de (ii); (iv) identifica os índices de adequação humana, utilizando parâmetros legais ou regulados (IO_L , IR_L , IV_L e IT_L) dos índices determinados em (iii); (v) determina o gradiente de índices do atributo APC; e (vi) compara os índices inferidos com os índices de adequação humana, ver Equação (41). A saída desses subatributos são os limites legais ou regulados permitidos para a alteração dos parâmetros ambientais que impactam na percepção de conforto das populações locais.

$$[Soc]_{i,3} = \begin{bmatrix} IO_{1,1} & IR_{1,2} & IV_{1,3} & IT_{1,4} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ IO_{i,1} & IR_{i,2} & IV_{i,3} & IT_{i,4} \end{bmatrix} \xrightarrow{\Delta} [Soc]_{i,3} = \begin{cases} IO_M \leq IO_L \\ IR_M \leq IR_L \\ IV_M \leq IV_L \\ IT_M \leq IT_L \end{cases} \quad (41)$$

4.3.3.4 Algoritmo do atributo geração de empregos

O atributo *Geração de Empregos* avalia o impacto local das m atividades da cadeia energética de um RE no desenvolvimento humano das populações residentes, por meio da valoração de dois subatributos – *Geração de Emprego Local* e *Qualidade do Emprego* -, o primeiro estima a quantidade de empregos diretos gerados no local dos projetos ao longo da sua execução, operação e descomissionamento e o segundo a qualidade desses empregos com base em critérios de grau de qualificação da função, faixa salarial, saúde ocupacional e susceptibilidade de riscos e acidentes do trabalhadores. A identificação dos critérios se dá na bibliografia internacional e em documentação de projetos similares.

O algoritmo do subatributo *Geração de Empregos Locais*, elemento $Soc_{i,4}$ da matriz $[SOC]_{i,k}$, utiliza uma rotina para alimentar as entradas de uma função matemática. A rotina é definida por: (i) identificação dos m processos envolvidos na cadeia energética, dentro da região z avaliada; (ii) identificação da oferta de empregos por MW instalado (EMP); (iii) identificação da porcentagem de atividades e mão-de-obra exigida localmente (FA); (iv) identificação de fator multiplicador de produtividade e exportação de energia (MPE), o qual considera os ganhos de produtividade no LP

impactando na diminuição de postos de trabalho existentes ao mesmo tempo que permite a ampliação de novos negócios e a exportação de tecnologias e processos para outros projetos; (v) determinação do número total de empregos gerados em toda a cadeia energética do RE ao longo do tempo, ver Equação (43). A saída do subatributo é a determinação do potencial realizável de empregos para o RE avaliado (Empregos/MW).

$$Soc_{i,4}=[Soc]_{i,k} \quad (42)$$

$$[Soc]_{i,k} = \sum_{l=1}^{L_{th}} \sum_{m=1}^{M_{th}} \sum_{z=1}^{Z_{th}} EMP_{l,m,z,t} \times FA_{m,1} \times MPE_{m,1} \quad \forall t \quad (43)$$

O algoritmo do subatributo *Qualidade do Emprego*, elemento $Soc_{i,5}$ da matriz $[SOC]_{i,k}$, exige uma curadoria sistemática de documentação de projetos similares, relatórios de agências internacionais e de periódicos para responder as etapas da rotina de processo de determinação e valoração do subatributo, que consiste em: (i) estratificação do potencial de empregos, determinado no subatributo *Geração de Empregos*, por atividade da cadeia energética – construção, implantação, operação, manutenção, etc; (ii) segregação e caracterização dos empregos quanto a temporalidade – temporal ou perene; (iii) identificação das faixas salariais; (iv) identificação do grau de qualificação do potencial de empregos; e (v) identificação dos riscos de acidentes para os postos de trabalho.

4.3.3.5 Algoritmo de Influência no Desenvolvimento Local

O atributo *Influência no Desenvolvimento Local (IDL)* estima o impacto no desenvolvimento socioeconômico e na infraestrutura local resultante da implantação e operação de um RE, exigindo dados coletados em nível nacional e local, o que pode ser um imperativo limitante aos países em desenvolvimento (ECLAC, 2015, 2019; Relva *et al.*, 2021).

O algoritmo do atributo, elemento $Soc_{i,6}$ da matriz $[SOC]_{i,k}$, calcula diversos indicadores líquidos⁵⁶, mas com a obrigatoriedade de determinar os indicadores

⁵⁶ Tais indicadores variam ao longo do tempo conforme as demandas locais de bem-estar (Kikstra *et al.*, 2021) e as agendas globais - Agenda 21 (United Nations, 1992) e Agenda 2030 (United Nations, 2015) - moldam a forma de medição e valoração dos índices de desenvolvimento da sociedade.

pétreos de desenvolvimento – educação, igualdade de gênero, renda e saúde – e, posteriormente valora o atributo *IDL* composto por todos os indicadores calculados ou identificados. Essa valoração segue uma rotina de etapas que: (i) identifica os m processos envolvidos na *cadeia energética*, dentro da região z avaliada; (ii) seleciona os indicadores líquidos a serem avaliados; (iii) determina a metodologia de avaliação dos indicadores líquidos e pétreos; (iv) identifica e extrai a base de dados para a determinação dos indicadores avaliados; (v) calcula o atributo *IDL* utilizando a Equação (45), composto por todos os indicadores normalizados w_i , com distribuição variando de 0-1 para a área z avaliada, contendo as $m = 1, \dots, M_{thh}$ cadeias energéticas dos $l = 1, \dots, L_{th}$ RE analisados; e (vi) separa o resultado composto final em quartil – muito elevado, elevado, médio, baixo (Pnud, 2013; UNDP, 2016, 2020) - por meio de uma ponderação de pesos homogêneos, utilizando a Equação (46).

$$Soc_{i,5} = IDL_z \quad (44)$$

$$IDL_z = \sum_{l=1}^{L_{th}} \sum_{m=1}^{M_{thh}} \frac{\sum_{i=1}^{I_{th}} w_i \cdot y_i^z}{\sum_{i=1}^{N_{th}} w_i} \quad (45)$$

$$y_i^z = \frac{x_i^z - \min(x_i^z)}{\max(x_i^z) - \min(x_i^z)} \quad (46)$$

Em que: x_i^z , corresponde ao indicador i determinado na área z avaliada; $\min(x_i^z)$ e $\max(x_i^z)$, correspondem ao valor mínimo e máximo do indicador i determinado para a amostra de áreas z avaliadas.

4.3.4 Dimensão técnica-econômica

A DTEC é um processo de levantamento de indicadores técnicos e econômicos com o objetivo de determinar as características técnicas e operativas, o potencial de geração e custos econômicos totais dos REs avaliados. Os atributos e subatributos dessa dimensão são elementos matriciais homogêneos com entradas e saídas quantitativas.

A metodologia da DTEC tem abordagem analítica, do tipo *bottom-up*, e cobre a tríade fundamental da análise técnica-econômica (Baitelo, 2011) – economicidade, fatores técnicos e capacidade energética (Udaeta, 1997; Baitelo, 2011; Brand and

Missaoui, 2014; Koltsaklis *et al.*, 2014; Moura, 2017; Lee, Leal and Dias, 2018; Mirjat, Muhammad Aslam Uqaili, *et al.*, 2018; Prina *et al.*, 2019) – ao identificar os custos – investimento, implantação, operação, manutenção, produção, descomissionamento – da cadeia energética de um RE, incorporando as suas características técnicas – vida útil, capacidade instalada, fator de capacidade, intermitência, disponibilidade – para valorar o potencial energético completo do RE.

A saída da DTEC, diferentemente de outras dimensões não tem caráter subjetivo, e seus elementos são valores absolutos organizados em forma de matriz contendo os indicadores técnicos, econômicos e potenciais de geração dos REs avaliados.

A árvore da DTEC, ver Figura 21, possui cinco atributos com ramificações, totalizando 15 subatributos. A matriz $[DTEC]_{i,k}$ é de dimensão $i \times k$, formada por $k = 1, \dots, K_{th}$ colunas, uma para cada at , e $i = 1, \dots, I_{th}$ linhas de REs avaliados, ver Equação (48).

$$D_{i,4} = DTEC_{i,4} \therefore [D]_{i,k} = [DTEC]_{i,k} \quad (47)$$

$$[DTEC]_{i,k} = \begin{bmatrix} Tec_{1,1} & \cdots & Tec_{1,k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Tec_{i,1} & \cdots & Tec_{i,k} \end{bmatrix} \quad (48)$$

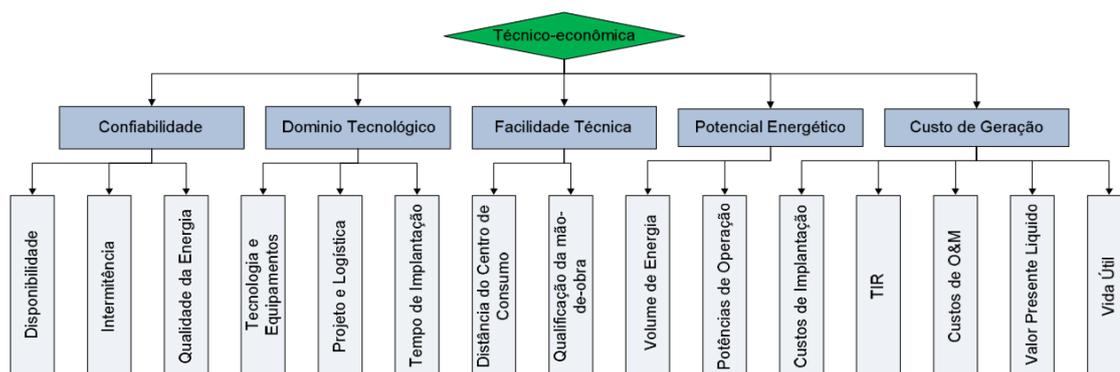


Figura 21. Árvore de atributos e subatributos da DTEC.

Fonte: Rigolin (2013).

4.3.4.1 Algoritmo do atributo potencial energético

O atributo *Potencial Energético* é fundamental para a compreensão do potencial de geração em uma determinada região em função das características do RE – fonte energética e tecnologia de conversão – e das restrições geográficas,

temporais e de mercado. Este atributo é valorado por dois subatributos – *Faixa de Potência* e *Volume de Energia* -, que segregam os REs em diferentes faixas de capacidade nominal, em relação as tecnologias de conversão, e calcula os volumes de energia disponíveis.

A saída do atributo é a quantificação da sensibilidade temporal do potencial energético de um RE, por meio da internalização de parâmetros vinculados ao aumento das restrições e variação da disponibilidade das fontes energéticas, evolução tecnológica, as condições econômicas e o cenário político

O subatributo *Faixa de Potência*, elemento $Tec_{i,1}$ da matriz $[DTEC]_{i,k}$, caracteriza a capacidade máxima de operação de uma UG a partir de um algoritmo do tipo rotina que: (i) identifica as capacidades nominais das tecnologias de conversão disponíveis para o RE avaliado; (ii) segregam as tecnologias por faixa de potência nominal; (iii) identifica o perfil de operação dessas tecnologias – eficiência, rendimento e *FC*.

A saída do atributo é uma matriz ixj , em que as colunas são as faixas de potência das tecnologias de conversão disponíveis para um RE, contendo as suas características técnicas e perfil de operação, e as linhas são os REs avaliados.

O subatributo *Volume de Energia*, elemento $Tec_{i,2}$ da matriz $[DTEC]_{i,k}$, valora a energia disponibilizada por um recurso. Seu algoritmo é uma função matemática que calcula o potencial de geração (Eg_i) - teórico (Eg_{teo}), realizável (Eg_{rlz}) e de mercado (Eg_{mcd}) - de um RE utilizando a Equação (50), que considera: número (N) e a potência nominal (Pn) de cada unidade de conversão existente no sistema de geração, a capacidade instalada (CI); o fator de capacidade (FC); e o período de operação (Δt) avaliado.

$$Tec_{i,2} = Eg_i \quad (49)$$

$$Eg_i = N_i \cdot Pn_i \cdot FC_i \cdot \Delta t \rightarrow \begin{cases} amb_{mín} < FC_i < amb_{máx} \\ pol_{mín} < FC_i < pol_{máx} \\ soc_{mín} < FC_i < soc_{máx} \\ tec_{mín} < FC_i < tec_{máx} \end{cases} \quad (50)$$

$$Eg_{teo_i} = 8760 \times CI_i \times FC_{t_i} \quad (51)$$

Essa equação usa como limitante o FC máximo ou mínimo de operação de um determinado RE, em que a partir dele são limitadas as entradas e saídas dos REs dentro do PELP, com base nos atributos valorados nas outras dimensões. Exemplo: local com limitação de GEE impacta na inserção ou não de um RE, que deve ser avaliado quanto a sua FC.

O Eg_{teo} é calculado por meio de um FC teórico, obtido no subatributo $Tec_{i,1}$, e Δt de um ano ($\Delta t = 8760h$), ver Equação (51), negligenciando os fatores geográficos, técnicos e temporais.

4.3.4.2 Algoritmo do atributo facilidade técnica

O atributo *Facilidade Técnica* indica e caracteriza os parâmetros técnicos iniciais para a implantação de uma UG, por meio da valoração de dois subatributos – *Tempo de implantação* e *Distância do Recursos Energético ao Centro de Carga* –, que definem a complexidade temporal e geográfica, respectivamente, de implantação de um RE.

O subatributo *Tempo de Implantação*, elemento $Tec_{i,3}$ da matriz $[DTEC]_{i,k}$, valora o período total de implantação de uma UG, considerando as suas etapas cronológicas, em série e em paralelo. O algoritmo é uma rotina que: (i) identifica as etapas (n) de implantação – estudos e projetos, preparação dos terrenos, obras civis, instalação eletromecânica, comissionamento, descomissionamento -; (ii) quantifica o período (Δt) de implantação de cada etapa; e (iii) consolida o tempo total ($PImp$) de implantação utilizando uma função matemática, ver Equação (53).

$$Tec_{i,3} = PImp_t \quad (52)$$

$$PImp_t = \sum_{n=1}^{N_{th}} \Delta t_{i,n,t} \quad \forall i \quad (53)$$

O subatributo *Distância da Geração ao Centro de Consumo* (DGCC), elemento $Tec_{i,4}$ da matriz $[DTEC]_{i,k}$, estima o custo de transporte de energia de uma UG até o centro de carga. O seu algoritmo é uma função matemática, ver Equação (55), que calcula o custo total de transmissão ($CTrans$) de eletricidade entre a zona de geração (za) até a zona de carga (zb) durante um dado período, em geral a vida útil do sistema

(p). Esses custos estão vinculados a taxa de energia transmitida (FE_{trans}), aos custos de investimento (I_{trans}) de implantação e a operação e manutenção ($CO\&M_{trans}$) da rede ao longo do tempo.

$$Tec_{i,4} = CT_{trans} \quad (54)$$

$$CT_{trans_{i,za,zb,t}} = \sum_{i=1}^{I_{th}} FE_{i,za,zb,t} \cdot (I_{trans_{i,t}} + CO\&M_{trans_{i,t}}) \quad (55)$$

$$\forall i, za, zb, t: za \neq zb$$

4.3.4.3 Algoritmo do atributo confiabilidade

O atributo *Confiabilidade* valora um RE pela tríade de subatributos – *Disponibilidade, Intermitência e Qualidade da Energia* – consoante à faixa de potência da UG, à disponibilidade da fonte energética ao longo do tempo e da tecnologia de conversão utilizada, do ponto de vista da qualidade de fornecimento da energia. Esse atributo é representado pela matriz $[Tec]_{i,j}$, de dimensão $i \times 3$, i linhas de REs avaliados e três colunas de subatributos, ver Equação (56).

$$[Tec]_{i,j} = \begin{bmatrix} FD_{1,1} & FC_{1,2} & QL_{1,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ FD_{i,1} & FC_{i,2} & QL_{i,3} \end{bmatrix} \quad (56)$$

O subatributo *Disponibilidade*, elemento $Tec_{i,5}$ da matriz $[DTEC]_{i,k}$, depende da cadeia de fornecimento da fonte energética, no caso de fontes do tipo combustível (*comb*); das condições climáticas, como variação da velocidade do vento e cobertura de nuvens; e dos serviços de manutenção e reparos.

O algoritmo calcula o fator de disponibilidade (FD) de um RE, por meio da somatória da energia gerada (Eg) pelo RE, em um dado período ($t = 0, \dots, T_{th}$), dividido pelo de tempo total (Δt) do período avaliado e o compara com a máxima disponibilidade do RE, valor de projeto ($Disp_0$) vezes a da capacidade instalada (CI) operacional do sistema no mesmo período, ver Equação (58).

$$Tec_{i,5} = FD_{i,z,t} \quad (57)$$

$$FD_{i,z,t} = \sum_{i=1}^{I_{th}} \frac{\sum_{t=0}^{T_{th}} Eg_{i,z,t}}{\Delta t_i} \leq Disp_{0,i,z,t} \cdot CI_{i,z,t} \quad \forall z \quad (58)$$

O subatributo *Intermitência*⁵⁷, elemento $Tec_{i,6}$ da matriz $[DTEC]_{i,k}$, varia com a fonte energética e com grau de desenvolvimento da tecnologia e do arranjo do sistema. O seu algoritmo é uma função matemática que calcula o *FC* do RE avaliado - razão entre a energia gerada num dado período (Δt) e a máxima geração na condição de operação plena da capacidade instalada (CI^{max}) do RE, no mesmo período, ver Equação (60) – e o compara com a somatória da taxa de duração (*dur*) da capacidade instalada (*CI*) operacional do sistema, ver Equação (61).

$$Tec_{i,6} = FI_{i,z,t} \quad (59)$$

$$FC_{i,t} = \frac{Eg_{i,t}}{CI_i^{max} \cdot \Delta t} \quad (60)$$

$$FI_{i,z,t} = \sum_{i=1}^{I_{th}} (dur_i \cdot CI_{i,z,t}) \leq FC_{i,z,t} \cdot CI_{i,z,t}^{max} \quad \forall i, z, t \quad (61)$$

O subatributo *Qualidade da Energia (QL)*, elemento $Tec_{i,7}$ da matriz $[DTEC]_{i,k}$, está relacionado a tecnologia de conversão do RE, e indica e categoriza os distúrbios manifestados na rede de energia ocasionados pela energia gerada pelos RELOs ou alterada pelos RELDs a partir da variação de parâmetros técnicos de alteração de corrente, alteração de tensão, alteração de potência (ativa, reativa, harmônica).

O seu algoritmo é uma rotina que: (i) analisa as tecnologias de conversão dos REs; (ii) segrega os REs em faixas de potência; (iii) identifica o potencial de alteração dos parâmetros técnicos de rede pela inserção do RE; e (iv) consolida o potencial de alteração de potência – ativa, reativa e harmônica.

⁵⁷ Ressalta-se que este atributo avalia cada RE independentemente, ou seja, ele não considera a complementariedade dos diferentes RE

4.3.4.4 Algoritmo do atributo domínio tecnológico

O atributo *Domínio Tecnológico*, elemento $Tec_{i,8}$ da matriz $[DTEC]_{i,k}$, é a complementação dos subatributos *Posse* e *Propriedade*, da DPOL, onde o RE é valorado quantitativamente quanto ao grau de domínio tecnológico da sua cadeia energética em relação a região z de implantação.

O seu algoritmo é uma rotina que: (i) extrai os mapeamentos de *Posse* e *Propriedade* do RE; (ii) avalia os processos produtivos da tecnologia de conversão, da infraestrutura e dos serviços da cadeia energética; (iii) calcula o índice de domínio tecnológico (ID_{dt}), razão entre o valor dos componentes e dos equipamentos importados (C_{imp}) dividido pelo valor total dos componentes importados e nacionais (C_{Tot}), ver Equação (63); e (iv) classifica o domínio tecnológico como – local, nacional, regional⁵⁸, internacional.

$$Tec_{i,5} = IDT_{i,z} \quad (62)$$

$$IDT_{i,z} = \sum_{i=1}^{I_{th}} \sum_{z=1}^{Z_{th}} \frac{(1 - C_{imp_{i,z}})}{C_{Tot_{i,z}}} \cdot 100 \quad (63)$$

$$C_{Tot_{i,z}} = \sum_{i=1}^{I_{th}} \sum_{z=1}^{Z_{th}} (C_{imp_{i,z}} + C_{nac_{i,z}}) \quad (64)$$

4.3.4.5 Algoritmo do atributo custo de geração

O atributo *Custo de Geração* (CUG), elemento $Tec_{i,9}$ da matriz $[DTEC]_{i,k}$, valora os custos totais da cadeia energética (m) de um RE por UG, incorporando subatributos técnicos e econômicos da DTEC na sua composição, de modo a determinar a viabilidade econômica do projeto.

Este atributo utiliza a metodologia do custo nivelado de eletricidade ou LCOE, ver Equação (66), e sua saída é um valor absoluto, em unidades monetárias por kWh ou MWh gerado pelo RE avaliado, ou seja, indica o valor mínimo da eletricidade para recuperar os custos totais do projeto (Cadavid and Franco, 2017; Silva *et al.*, 2022).

⁵⁸ No caso de um projeto transnacional, quando o domínio tecnológico da cadeia energética é atendido pelos países que compõem a região de implantação do RE, o seu índice é intitulado regional, ou seja, o domínio tecnológico do RE avaliado está contido nos países que detém o RE.

$$Tec_{i,9} = CUG_i = LCOE_i \quad (65)$$

$$LCOE_i = \frac{\sum_{p=t=1}^{P_{th}} (I_t + O\&M_t + Comb_t + Desc_t + Emi_{CO2q_t} + CT_{rans_t}) \cdot (1+r)^{-p}}{\sum_{t=1}^{T_{th}} Eg_t \cdot (1+r)^{-p}} \quad (66)$$

Os parâmetros de entrada do LCOE são os atributos e subatributos: custo de investimento total (I_{tot}) - CAPEX; o custo total de operação e manutenção ($O\&M_{tot}$); custo aquisição de combustível $Comb_t$; custo de descomissionamento do sistema ($Desc_{tot}$); custo de emissão de carbono equivalente ($Emi_{CO2q_{tot}}$); custo de transmissão da geração à carga ($CT_{rans_{tot}}$); potencial de geração total do sistema (Eg_{tot}); vida útil do sistema (p); e taxa de desconto aplicada ao investimento (r).

O subatributo *Custo de Investimento* (I_{tot}) contabiliza o capital investido na viabilização e implantação de um projeto, abrangendo custos de engenharia, construção, planejamento, financiamento, etc. Posteriormente, esses custos são divididos pela *IC* da UG, ver Equação (67).

$$I_{tot_{i,m,z}} = \frac{\sum_{i=1}^{I_{th}} \sum_{m=1}^{M_{th}} \sum_{z=1}^{Z_{th}} I_{l,m,z,t}}{IC} \quad \forall t \quad (67)$$

O subatributo *Custos de Operação e Manutenção* ($O\&M$) - OPEX - abrangem custos de operação e manutenção ao longo da vida útil do projeto. Esse custo possui uma parcela fixa anual, atrelada a capacidade instalada e que incorpora custos de peças e serviços, e uma parcela variável, dependente da energia gerada e que inclui custos de administração e mão-de-obra.

O subatributo *Custo de Combustível* ($Comb$) depende do tipo de fonte energética utilizada pelo RE⁵⁹. Esse subatributo é orientado por parâmetros políticos e econômicos, pois em geral as fontes energéticas do tipo combustível fóssil, fóssil e biomassa são commodities negociadas no mercado internacional com preços relativos a um energético principal ou a algum mercado de referência (S. G. Relva *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020a, 2022). A sua valoração utiliza uma função matemática, que determina o custo da fonte importada ($Comb_{imp}$) de diferentes regiões (z) num período (t), corrigido por uma taxa de desconto (r), para qualquer fonte (f) pertencente a

⁵⁹ RE que a fonte energética é o sol, corrente ou fluxo de água, descolamento de massa de ar não apresentam custo de combustível.

categoria combustível ($\forall f \in comb, t$), pela relação direta entre a quantidade de combustível importada (Q_{imp}) e seu preço de importação (P_{imp}), ver Equação (68).

$$Comb_{imp_{f,t}} = r_t \cdot \sum_{z=1}^{Z_{th}} Q_{imp_{f,z,t}} \cdot P_{imp_{f,t}} \quad \forall f \in comb, t \quad (68)$$

O subatributo Custo de Descomissionamento ($Desc$) é baseado nos custos diretos e indiretos da construção do projeto. Seu valor geralmente é dado em % do I_{tot} e é aplicado ao final da sua vida útil do projeto. Esse valor pode ser encontrado em bibliografia especializada.

O subatributo *Custo de Emissão de Carbono equivalente* (Emi_{CO2q}), atribui valor monetário as emissões de GEE vinculado ao RE. Esses valores são fixados em alguns mercados internacionais, portanto, a sua identificação é feita em documentos e artigos científicos especializados.

O subatributo *Vida Útil* (p) de um projeto atribui o período, em anos, de operação da UG, em condições padrão de rendimento de conversão e geração de energia. Esse subatributo pode ser identificado em documentos técnicos e artigos científicos, que em geral categorizam a vida útil em relação ao tipo de tecnologia de conversão.

O subatributo *Taxa de Desconto* (r) aplicada ao investimento varia com o ambiente de contratação e implantação do RE. Valores baixos de r estão atrelados a locais com baixo risco regulatório, jurídico e com previsão de estabilidade econômica, já os valores altos de r , correm em ambientes antagônicos ao exposto anteriormente. Esses valores são encontrados em documentos técnicos e artigos científicos.

5 ESTUDO DE CASO

O Estudo de Caso desta tese aplica a metodologia desenvolvida no Capítulo 4 para determinar os REs disponíveis na região da AS que propiciem a IET num cenário tendencial projetado para o período de 2020-2050.

As informações prévias utilizadas de entrada no módulo de listagem e peneiramento são apresentadas e discutidas no Capítulo 1 e 2, que conforma indiretamente os módulos de inventário energoambiental e de identificação dos En-Ins e dos REs existentes.

Sobre os REs ponderados para a IET na região da AS. Parte-se de premissas fundamentais, ver Tabela 17, em que a fonte energética deve: (i) estar contida na geografia avaliada, ou seja, presente no território brasileiro ou em um país fronteiro a ele; (ii) permitir a geração de energia firme, em escala e não variável ao longo do dia; (iii) utilizar modal de transporte de rede (LT ou gasoduto); (iv) ser utilizada nos países que por ventura venham a ser integrados; e (v) possuir cadeia (integral ou parcial) de suprimento de insumos, tecnologias e serviços presentes na região da AS.

Tabela 17. Premissas gerais.

Aspecto*	Premissa
Objetivo	Países da América do Sul exportando energia para o Brasil
Geografia	Países que fazem fronteira com o Brasil ou área offshore.
Restrições geográficas	Relevo, unidades de conservação, terras de nações originárias e quilombolas (existentes e em demarcação)
R/P do GN	> 10 anos
IRR	> 100
RES_{Hexpl}	> 40% ou binacional
Geração	Geração firme, em escala e não variável ao longo do dia
Capacidade Instalada	CI > 200MW
RELOs de rede	UTES e UHEs (existente / indicada) UTES com ciclo combinado, on-offshore, com e sem CCS UHEs binacionais e nacionais Consideração ou não dos Custos de Emissão de GEE para UHEs
Modal de transporte	Sistema de rede (linhas de transmissão e transporte por gasodutos)
Dados	Dados desagregados Banco de dados globais, regionais e nacionais
Horizonte - LP	Ano base 2019 2020 a 2050 (2020 = 2019 = COVID-19)

*A descrição completa dos termos das premissas gerais está distribuída nos subitens do Capítulo 5.

5.1 LISTAGEM E PENEIRAMENTO

Acatando às premissas fundamentais, as fontes energéticas do lado da oferta disponíveis para a IET são as reservas nacionais de GN⁶⁰ da Argentina, Bolívia, Brasil, Colômbia, Peru e Venezuela e os recursos hídricos não explorados⁶¹ da Argentina, Bolívia, Brasil, Colômbia, Paraguai, Peru, Suriname, Uruguai e Venezuela.

As fontes energéticas fósseis, como carvão mineral e óleo combustível, e os materiais fósseis⁶², são descartados, pois não contemplam uma aplicação transnacional na AS, já as outras renováveis são variáveis e sazonais, dificultando a aplicação em regime de fornecimento firme (Cosseron, Schlosser and Gunturu, 2014; Gebretsadik *et al.*, 2016; Coutinho *et al.*, 2019; Meres Valadão *et al.*, 2020; Paula *et al.*, 2020; Stefania Gomes Relva, Gimenes, *et al.*, 2020), pois requerem a incorporação de métodos, modelos, critérios, base de dados e sistema de suporte à decisão inexistentes no PE tradicional (Ramos *et al.*, 2020).

Porém, essas fontes podem ser analisadas no viés da complementariedade anual e interanual, no contexto da operação do sistema elétrico, e para adicionar capacidade de ponta com o intuito de diminuir riscos de déficit de energia e de interrupção.

As fontes energéticas disponíveis utilizam tecnologias de conversão que resultam nas UTEs, que podem ser de ciclo combinado (UTECC⁶³) ou de ciclo aberto (UTECA⁶⁴), e as UHEs, a fio d'água (UHE_a) ou com reservatório (UHE_r). Dado a necessidade de

⁶⁰ Maiores reservas da AS, ver Capítulo 2, e No caso da Bolívia, Peru e Venezuela, as suas reservas suprem os seus consumos internos e possuem excedentes para exportação no LP, inclusive sem considerar a renovação das reservas, uma vez que ambos os países apresentam $IRR > 100$. Além disso, no caso da Venezuela, suas reservas são capazes de suprir toda a demanda dos países da região. Portanto, a fonte energética GN disponível para a IET-AS são as reservas offshore do *Brasil*, as reservas onshore da *Bolívia* e do Peru e as reservas onshore e *offshore* da *Venezuela*.

⁶¹ Países fronteiriços com potencial de geração hidrelétrica inexplorado, ver Capítulo 2.

⁶² Embora alguns países da AS tenham grandes reservas provadas de carvão mineral, de petróleo e de urânio (IEA, 2020; BP, 2021). Essas fontes energéticas foram descartadas pois: a utilização de carvão mineral e óleo combustível para geração de eletricidade apresentam os maiores impactos ambientais, devido a emissão de poluentes atmosféricos e GEE (Ferreira *et al.*, 2022); e a implantação de usinas nucleares na região da AS é limitada - Argentina e Brasil (OLADE, 2020a) –, cuja a expansão de novas UGs se dá de forma morosa e dependente de capital, equipamentos e técnicos internacionais. Portanto, buscando-se o desenvolvimento sustentável e uma autonomia regional para a implantação dos REs, essas fontes energéticas foram descartadas da análise.

⁶³ UTECC utiliza os gases de combustão de turbinas a GN para vaporizar a água e alimentar uma turbina a vapor, ou seja, uma UTECC utiliza as fontes energéticas do GN para alimentar as turbinas a GN e água para alimentar as turbinas a vapor, aumentando a sua CI. Em geral, as UTECC têm arranjo 2x1, duas turbinas a GN para uma turbina a vapor (Siemens, 2017).

⁶⁴ UTECA possui apenas turbinas a GN, ou seja, os gases de combustão não são aproveitados para gerar energia, esse tipo de UG possui eficiência menor que as UTECC (IEA and NEA, 2020; Silva *et al.*, 2022)

energia firme e em escala para a IET, as UTEs e as UHEs com $CI < 200\text{MW}$ são descartadas, impactando nas faixas de potência das UGs.

Ambos os REs avaliados utilizam estruturas de rede para transportar o GN da região de exploração e produção (E&P) de GN até a UTE, via gasoduto, ou para transportar eletricidade da UTE e UHE até o centro de carga, via LT.

Em relação a geografia – implantação -, a UG pode estar contida em área terrestre ou marítima – *onshore (on)* ou *offshore (off)* - do país exportador de energia (*exp*), ou em área *onshore* do país importador⁶⁵ (*imp*), ou ainda na região de fronteira. No último caso, e tradicionalmente empregado para UHEs, a UG é cunhada como binacional (*bi*). Ainda no caso das UTECC, tecnologias de CCS podem ser implementadas para reduzir a emissão de CO_2 .

As faixas de potências⁶⁶ são divididas em quintil, iniciando em $CI > 200\text{MW}$ e finalizando em $CI > 1.400\text{MW}$. Essa divisão é baseada na CI das UTEs e UHEs implantadas em países avaliados pelo IEA (IEA and NEA, 2015, 2020) e com base na prospecção das UGs indicadas ou implantadas no contexto da IET-AS, ver Capítulo 2. Esse rol de opções de RELOs é consolidado na Tabela 18.

Tabela 18. Lista de RELOs e faixas de potência no contexto do Estudo de Caso.

Fonte	UG	Faixa de potência (MW)				
		$200 < CI \leq 500$	$500 < CI \leq 800$	$800 < CI \leq 1100$	$1100 < CI \leq 1400$	$CI > 1400$
GN	<i>UTECA_{on-exp}</i>					
GN	<i>UTECA_{off-exp}</i>					
GN	<i>UTECA_{on-imp}</i>					
GN+Água	<i>UTECC_{on-exp}</i>					
GN+Água	<i>UTECC_CCS_{on-exp}</i>					
GN+Água	<i>UTECC_{off-exp}</i>					
GN+Água	<i>UTECC_CCS_{off-em}</i>					
GN+Água	<i>UTECC_{on-imp}</i>					
GN+Água	<i>UTECC_CCS_{on-imp}</i>					
Água	<i>UHEa_{imp}</i>					
Água	<i>UHEa_{exp}</i>					
Água	<i>UHEa_{bi}</i>					
Água	<i>UHEr_{imp}</i>					
Água	<i>UHEr_{exp}</i>					
Água	<i>UHEr_{bi}</i>					

⁶⁵ O custo de implantação da $UG_{off} > UG_{on}$ (Silva *et al.*, 2022), portanto, não contempla UG_{off} por parte do importador.

⁶⁶ As faixas de potência consideram a totalização da CI do conjunto de máquinas de geração implantadas na UG.

O peneiramento utiliza dados extraídos, filtrados, sistematizados e analisados de documentos e de bases de dados dos países avaliados (MINEM, 2013; MHE, 2014; DNEP, 2019; ANP, 2020; DNIE, 2020) e de organismos regionais e internacionais OLADE (2018, 2020a), SieLAC (2021), BP (2014, 2020, 2021), IEA (2015, 2020; 2017b, 2019, 2020), OECD/IEA (2012), IADB (2020c, 2020d, 2020a), para ano base 2019.

O ano de 2020 foi excluído da análise devido a pandemia de COVID-19 (WB, 2021; WHO, 2021), que causou forte variação e declínio na produção e consumo de energia dos países (Beljansky *et al.*, 2020; Ubierna, Alberti and Alarcón, 2020; BP, 2021; Sánchez Úbeda *et al.*, 2021).

O peneiramento dos REs avaliados inicia com a fonte GN, por meio da estimativa das taxas de Reservas e Produção por ano (R/P) de GN dos países selecionados. Nesse primeiro peneiramento, países com R/P < 10 anos foram descartados, uma vez que as reservas provadas não permitem um PE de MP.

Considerando o histórico das reservas normalizados, de E&P e consumo GN entre 1960-2019⁶⁷, determinou-se a mediana do índice de renovação das reservas (IRR^{68}) e a taxa de crescimento anual (c) do consumo interno de GN para cada país, o que permite projetar os valores RES e CON , para o horizonte de 30 anos (2050), e calcular o DIE , ver Tabela 19. Ressalta-se que não foram considerados RELDs, que podem impactar na redução do consumo interno dos RELOs, aumentando a sua disponibilidade de exportação.

⁶⁷ Períodos dos dados: Reservas (R) início 1980, salvo Peru com início em 1986; Produção (P) início 1970, salvo Bolívia produção com início em 1972; Consumo (C) início em 1960, salvo Bolívia em 2006.

⁶⁸ IRR é calculado pela relação entre a variação das reservas (R) entre o ano t e t-1 pela produção (P) no ano t, $IRR_t = (((R_t - R_{t-1})/P_t) + 1) \cdot 100$. $IRR \geq 100$ representa que o país está reabastecendo as reservas em pelo menos nos níveis de produção consumidos e $IRR < 100$ significaria reposição inadequada (ou zero) das reservas.

Tabela 19. Consolidação dos dados da fonte energética - GN.

País	R_{2019}	P_{2019}	R/P	C_{2019}	IRR_{med}	c	$\sum_{2020}^{2050} CON$	$\sum_{2020}^{2050} DIE$
	[Tm ³]	[Gm ³]	[anos]	[Gm ³]		[%]	[Tm ³]	[Tm ³]
Argentina ¹	0,520	41,6	13 ¹	47,5	99,96	0,92	1,6	(1,0)
Bolívia	0,213	15,0	14	3,5	100,03	0,17	0,096	0,117
Brasil	0,375	25,7	15	35,8	100,08	1,56	1,3	(0,9)
Colômbia ²	0,086	13,2	8	13,4	-	-	-	-
Peru	0,276	13,5	21	8,3	100,44	0,52	0,236	0,039
Venezuela	6,260	25,6	238	26,5	100,25	0,63	640	5,6

¹ Dado os investimentos e E&P de GN não convencional, considera-se as reservas possíveis, resultando no aumentando a R/P de 8.7 para 12.5 anos. ² Como a R/P é inferior a 10 anos, os diversos indicadores não foram calculados, por isso o uso do "-".

Fonte: Adaptado de OLADE (2020a), BP (2021) e DNIE (2020).

A Colômbia apresenta R/P<10, por isso as reservas desse país foram excluídas da análise. A Argentina apresenta $IRR < 100$, ou seja, não renova as suas reservas para atender as suas necessidades internas e gerar excedentes que permitam contratos de fornecimento firme de LP, isso fica evidente ao analisar o somatório do consumo interno até 2050, que é três vezes maior que as reservas nacionais. Portanto as reservas argentinas são excluídas da análise.

O Brasil apresenta produção de GN 25,7 (Gm³/ano) inferior ao seu consumo interno (35,8 Gm³/ano), ou seja, é um país dependente de importações de GN. Em 2050, o Brasil terá um déficit de 0,9 Tm³ de GN. Mesmo considerando $IRR > 100$, o país dependerá da importação de GN. Caso haja o estabelecimento de uma condição regulatória favorável, o GN do Pré-sal poderá inserir-se no mercado internacional via exportação de GNL, para suprir à diversificação da demanda europeia e o aumento da demanda de LP, por parte dos países asiáticos, principalmente da China, mas com vistas e ponderações à *realpolitik* praticada neste comércio internacional (Silva *et al.*, 2020a, 2020b), ou ainda, o Brasil poderá redirecionar o GN reinjetado nos campos *offshore* de E&P (S. G. Relva *et al.*, 2020) para gerar energia e exportá-la para países fronteiriços (Silva *et al.*, 2022). Portanto, as reservas do Pré-sal destinadas a reinjeção (S. G. Relva *et al.*, 2020), são consideradas na IET.

No caso da Bolívia, Peru e Venezuela, as suas reservas suprem os seus consumos internos e possuem excedentes para exportação no LP, inclusive sem considerar a renovação das reservas, uma vez que ambos os países apresentam $IRR > 100$. Além disso, no caso da Venezuela, suas reservas são capazes de suprir toda a demanda dos países da região. Portanto, a fonte energética GN disponível para a IET-AS são as reservas *offshore* do Brasil, as reservas *onshore* da Bolívia e do Peru e as reservas *onshore* e *offshore* da Venezuela.

O peneiramento da fonte hídrica inicia com a identificação do potencial técnico ou volume útil disponível para exploração hídrica (RES_{Hexpl}). Países com potencial técnico já explorado acima de 40% são excluídos, pois em geral a capacidade técnica de exploração dessa fonte se restringe a essa faixa em regiões com mercado de energia desenvolvidos, como no caso dos países desenvolvidos da União Europeia, Ásia e AN (OECD/IEA, 2012).

O Brasil, tem RES_{Hexpl} de 42%, mas pois possui restrições para implantar UHE com $CI > 30\text{MW}$ devido à alta sensibilidade socioambiental⁶⁹. Estima-se que apenas 23% do potencial disponível não sobrepõem áreas protegidas (EPE, 2020b). O Paraguai e Uruguai possuem RES_{Hexpl} de 67.3% e 84.7%, respectivamente. Portanto, o potencial disponível do Brasil, Paraguai e Uruguai são excluídos.

Considerando o histórico de geração e consumo de energia entre 1965-2019 e com o intuito de determinar uma taxa de crescimento anual (c) do consumo interno de eletricidade de cada país, diversos métodos estatísticos foram aplicados (regressão linear, média aritmética, médias moveis, mediana etc.), sendo escolhido um índice conservador - taxa de crescimento anual composto (CAGR).

Assim, foi possível projetar o valor de CON em 2050 e, por fim, determinar o DIE , calculado com base no RES_{Hexpl} , em que a geração de energia explorável (G_{Hexpl}), de cada país, é determinada pela relação do fator de capacidade (FC_n)⁷⁰, da energia hidroelétrica gerada ($G_{hidro,n}$) e a (CI_n) para o ano (n) de 2019.

⁶⁹ Está relacionada ao impacto direto em terras indígenas, terras quilombolas e unidades de conservação (EPE, 2020b).

⁷⁰ Fator de Capacidade (FC) é dado por $FC = G_n / (CI_n \cdot 8760)$, em que G_n e CI_n são a energia gerada e a capacidade instalada de um RE no ano n .

Países com $G_{Hexpl} < CON_{2050}$ são excluídos, pois o RES_{Hexpl} são considerados estratégicos para o atendimento da demanda interna, ver Tabela 20. Neste caso, também não foram considerados a inserção de RELDs. Com este limitador, a Argentina passa a integrar os países excluídos.

Tabela 20. Consolidação dos dados da fonte energética - Hídrica.

País	CI_{2019}	RES_{Hexpl}		G_{2019}		G_{Hexpl}	FC_{2019}	C_{2019}	c	$\sum_{2020}^{2050} CON$	DIE_{2050}^2
				Total	Hidro						
	[GW]	[%]	[GW]	[TW]	[TW]	[TWh]	[%]	[GWh]	[%]	[Tm ³]	[Tm ³]
Argentina	11,3	28,0	29,1	129,8	35,4	91,0	36	125,6	2,7	290,6	(199,6)
Bolívia	0,8	1,9	39,2	10,3	3,3	167,9	49	8,2	4,5	32,1	135,7
Brasil	109,2	42,0	150,9	626,3	397,9	550,1	42	512,9	2,5	1.101,2	(551,1)
Colômbia	11,9	21,2	44,3	69,7	54,1	201,0	52	68,7	3,5	200,9	0,1
Paraguai	8,8	67,3	4,3	49,4	49,4	24,0	64	12,8	5,7	72,1	(48,1)
Peru	5,4	7,8	64,0	57,0	31,5	372,9	66	49,8	5,7	279,2	93,7
Suriname	0,2	7,8	2,1	2,3	1,1	12,8	69	1,8	2,9	4,3	8,5
Uruguai	1,5	84,7	0,3	16,1	8,1	1,5	60	11,3	3,0	28,5	(27,1)
Venezuela ¹	14,9	25,9	42,6	89,7	39,3	112,5	30	73,1	0,9	97,5	15,0

¹Referência de CI para o ano de 2013. ² O $DIE_{2050} = G_{Hexpl} - \sum_{2020}^{2050} CON$.

Fonte: Adaptado de OLADE (2020a), IEA (2012; 2020) e SieLAC (2021).

Portanto, a fonte hídrica disponível para à IET-AS são os RES_{Hexpl} da Bolívia, Colômbia, Peru, Suriname, Venezuela e as UGs binacionais⁷¹ possíveis de serem implantadas com o Brasil. No último caso, mesmo que o país esteja excluído, o RELO é considerado na condição de paridade de CI entre os dois países, ou seja, 50% da CI ou da geração de energia para cada país detentor da UG binacional.

Ressalta-se que, para ambas as fontes energéticas, conforme novas reservas de GN e inventários hidrelétricos são produzidos e novas tecnologias de aproveitamento são desenvolvidas, o potencial de IET dos países são alterados, o que pode impactar no surgimento de um novo *player* regional ou até mesmo global no comércio de energia, como ocorrido com a Guiana, em relação as reservas de petróleo, que passou de uma R/P de zero para 10.430 anos entre 2018-2019 (Castro *et al.*, 2017; OLADE, 2020a; SieLAC, 2021).

⁷¹ Identificadas no Capítulo 2.

A segunda parte do peneiramento, analisa as *DIE* das fontes energéticas - GN e hídrica - e o panorama geral da geografia, cujo principais limitadores para a IET são o relevo, as unidades de conservação, as terras das nações originárias e quilombolas existentes e em demarcação (Brasil, 2000; ICMBio, 2019; FUNAI, 2020; ICEMBio, 2021; ISA, 2021; MINEM, 2021).

Considerando que o fluxo energético se dá por estruturas de rede, a apreciação das distâncias, relevo e áreas de implantação da UG e traçado das redes de transporte são fundamentais para a execução do empreendimento. Conseqüentemente, esses limitadores são analisados par a par em relação as transnacionalidades envolvidas, ou seja, são analisados os limitadores geográficos para a IET das duas fontes energéticas entre o Brasil e os n países avaliados, ver APÊNDICE A.

Em termos de limitação, as fontes energéticas contidas na região oeste dos andes são descartadas, pois a sua utilização para a IET com o Brasil exige extensas obras de engenharia para traspor a cadeia de montanhas, superiores a 6.000m, e suportar a atividade sísmica frequente na região (Assumpção, 2011), assim como as contidas ao norte do Planalto Residual Norte, mesmo com altitudes inferiores à região andina, possuem relevo acidentado (Ross *et al.*, 2019) e intensa área de floresta, unidades de conservação e terras de nações originárias (Spinola, 2013; FUNAI, 2020), além de estarem distantes dos centros de carga e do sistema de transmissão dos países (Almeida, 2017; Batista and Rodríguez, 2017; BID and ELETROBRAS, 2017; CIER, 2017b; Rameli, 2017; Raúl Cubillo Betancourt, 2017; ONS, 2021c).

Por outro lado, as fontes energéticas presentes na Depressão Central Sul-americana, que detém o maior potencial hidroelétrico e de reservas de GN ainda não explorados da AS (OECD/IEA, 2012; Abreu Junior, 2015; Udaeta and Silva, 2017; OLADE, 2020a; SieLAC, 2021), possuem facilidade de transposição da infraestrutura transnacional, por ser uma região com baixas altitudes e formada por relevo com extensas planícies e corredores de infraestrutura de rede já existentes (IIRSA, 2016a, 2016b), mas com limitações geográficas em relação as unidades de conservação e terras das nações originárias (Spinola, 2013; ICEMBio, 2021; MINEM, 2021).

Assim, os REs selecionados para o estudo de caso estão contidos na região da Depressão Central Sul-americana, dada a maior proximidade relativa de acesso a

interconexão às redes de transmissão do SIN brasileiro ou por possuir traçado da linha de gasoduto por relevo de baixa altitude. Neste sentido, RE contidos na região do Arco Norte (Guiana Francesa, Suriname, Guiana e Venezuela – de leste a oeste -) são descartados, pois estão contidos principalmente no Planalto Residual Norte do Cráton Amazônico, estão distantes do SIN brasileiro e possuem extensa área de floresta com diversas reservas e unidades de conservação (Da Silva *et al.*, 2022), o que dificulta a ampliação do sistema existente, como no caso da interligação Guri-Venezuela com Boa Vista-Brasil. Esse problema também está presente na relação da IET do Brasil com a Colômbia, ver Figura 22.



*Linhas verdes são LTTs de 230 kV; linhas vermelhas são LTTs de 500 kV; pontos azuis são LTTs de 69 a 230 kV que fazem a interligação de parques eólicos às LTTs do SIN; e linhas amarelas são rodovias

Figura 22. Representação do SIN Brasileiro e dos países da fronteira norte.

Fonte: Adaptado de ONS (2021c).

Portanto, os REs da Colômbia, Suriname e Venezuela são descartados. A ressalva para esta exclusão é que os REs podem ser implantados de forma multinacional, com países sendo corredores de transposição energética. Exemplo: as abundantes reservas de GN da Venezuela poderiam escoar por gasodutos ao longo da Depressão Central Sul-

americana passando por Colômbia, Peru, Bolívia, Chile e Argentina, que se interligariam as redes transnacionais já existentes da Bolívia com o Brasil e Argentina.

Esse arranjo permitiria o escoamento e acesso ao GN abundante a todos os países do centro-sul da AS, resultando na ampliação do comércio regional, no fortalecimento das relações institucionais, regulatórias e dos contratos de LP e impulsionaria a consolidação de um parque tecnológico de suprimento de equipamentos e serviços de O&M na região com o *adendum* de inserir os menores países da região dentro do contexto de uma IET.

Essa inserção amplia a conexão de infraestruturas, uma vez que um maior número de sistemas energéticos, de diferentes países, se integra, criando corredores alternativos para escoamento da energia; expande a opção de mercados consumidores e fornecedores; possibilita explorar a complementariedade geográfica e anual das fontes energéticas e contornar falhas técnicas e contratuais dos sistemas.

A partir dos REs peneirados, uma última etapa é realizada – apenas como exercício de afinamento e facilitação para o estudo de caso da tese - para identificar e selecionar um RE de fonte energética hídrica e GN, quando for o caso, por país para ser avaliado pela metodologia DPC-IET. A Tabela 21 apresenta os REs selecionados para o estudo de caso e as seções seguintes justificam essa seleção.

Tabela 21. Consolidação dos REs avaliados no Estudo de Caso.

Relação IET	Fonte Energética	
	GN	Hidro
Bra=Arg	GN reinjetado do Pré-sal para exportação, via elétrons ou moléculas, para Argentina, de modo compensar o volume de exportação de GN, via gasoduto, para a UTE Uruguaiana.	UHE Binacionais Garabi e Panambi com paridade de exportação entre os dois países e conexão ao SIN de ambos os países.
Bra=Bol	GN transportado no gasoduto Lateral-Cuiabá e UTE Mario Covas.	UHE do complexo do rio Madeira e linha de transmissão conectando a subestação das UTEs Santo Antônio e Jirau.
Bra=Peru	-	UHE C.H. Inambari e linha de transmissão Inambari-Rio Branco conectando ao SIN brasileiro.

5.1.1 Integração Energética Transnacional - Argentina-Brasil

A relação da IET Argentina-Brasil se dá a décadas. Há uma integração de infraestruturas existentes de comunicação, energia (LT e gasoduto) e transporte. No primeiro peneiramento os RELOs avaliados individualmente para a IET em ambos países foram descartados.

Porém, há entre os dois países a possibilidade de implantação de duas UHEs binacionais – UHE Garabi (1.152 MW) e UHE Panambi (1.048 MW) – ambas estudadas e indicadas, contidas no Rio Uruguai - fronteira do Brasil e Argentina-, uma região com parques nacionais, relevo não complexo e próximas à LTs de ambos os países, ver Capítulo 2.

Além disso, há a possibilidade de utilização de GN reinjetado no Pré-sal para a geração de energia ou exportação da molécula de GN para a Argentina, nas modalidades de fornecimento firme, *spot* ou para compensação da exportação de GN para a UTE Uruguiana (640 MW), ver Capítulo 2.

Portanto, para esta IET, são considerados a fonte hídrica, vinculada as UHEs binacionais, e o GN, reinjetado do Pré-sal, com possibilidade de exportação via elétron ou molécula para a Argentina.

5.1.2 Integração Energética Transnacional - Bolívia-Brasil

A relação da IET Bolívia-Brasil remonta a mais de duas décadas e está relacionada, principalmente a estrutura de rede de gasodutos binacionais, sendo um deles o maior gasoduto da AS (GASBOL), ver Capítulo 2. No peneiramento a Bolívia demonstrou possuir DIE_{2050} , para as duas fontes energéticas avaliadas, suficientes para a IET.

No que tange o GN, atualmente o contrato de fornecimento do gás boliviano para o Brasil, por meio do GASBOL, está em revisão, já o fornecimento via o gasoduto Lateral-Cuiabá, Bolívia-Mato Grosso, conectado a UTE Mario Covas (529 MW), foi reativado de forma intermitente (MME, 2020b). Em ambos os casos o fornecimento é realizado com capacidade inferior a máxima de projeto (EPE, 2020c).

Em relação a fonte hídrica, há dois projetos já estudados e avaliados para implantação no Complexo do Rio Madeira, a montante das UTEs Santo Antônio e Jirau: (1) a UTE binacional Guajará-Mirim de 3.000 MW no rio Mamoré, fronteira Brasil e Bolívia; e (2) a UTE *Cachuela Esperanza* de 990 MW no rio Beni, integralmente em território boliviano a aproximadamente 180km da UTE Guajará-Mirim.

Portanto, para essa IET, são considerados a fonte hídrica, vinculada as duas UGs do complexo madeira, e o GN, transportado no gasoduto Lateral-Cuiabá e conectado a UTE Mario Covas. O GN do GASBOL é descartado, pois sua comercialização está vinculada a múltiplos usos finais (industrial, comercial, residencial e termoelétrico).

5.1.3 Integração Energética Transnacional - Brasil-Peru

A IET Peru-Brasil é parca e está vinculada ao comércio de combustível líquido entre cidades fronteiriças dos dois países - como Assis Brasil (Bra) e Inambari (Per); Benjamin Constant (Bra) e Islândia (Per); Atalaia do Norte (Bra) e Puerto Amelia (Per) -, não sendo medido nos relatórios energéticos regionais (IADB, 2020a; OLADE, 2020a; SieLAC, 2021).

No entanto, há projetos de IET entre os dois países, desde conexões de média tensão entre cidades isoladas no noroeste da Amazônia brasileira, como a interconexão Islândia (Peru) – Benjamin Constant (Brasil) que utiliza UTE a óleo combustível, até a implantação de grandes UTE para exportação integral de eletricidade para o Brasil, como a UHE Inambari de 2.000 MW, com reservatório e LT entre Inambari (Peru) - Rio Branco (Brasil) (Udaeta *et al.*, 2017; MINEM, 2021).

Além disso, o Peru planeja diversos projetos de geração termoelétrica e hidroelétrica na região da Depressão Central Sul-americana, a leste da Cordilheira dos Andes, sendo alguns de grande escala, $750 \leq UHE \leq 7.550$ MW (MINEM, 2007; ECLAC, 2013; Udaeta *et al.*, 2017). Essa característica geográfica impõe dificuldades de conexão aos centros de carga peruanos que se concentram a oeste da Cordilheira dos Andes. Isso torna esses RELOs ideais à IET com o Brasil, pois caso implantados e conectados ao SIN brasileiro, garantem o consumo parcial ou integral da geração e ao mesmo tempo podem suprir as cargas das regiões isoladas, fomentar o desenvolvimento regional e permitir a expansão da interconexão entre as diferentes regiões isoladas.

No caso do GN, mesmo com DIE_{2050} para exportação, não há previsão de construção de gasodutos transnacionais ou estudos de UTE de grande porte para exportação de energia para os países a leste da fronteira, neste caso, a fonte energética GN é descartada neste estudo de caso.

Portanto, para esta IET é considerada a fonte hídrica da região do Madre de Dios, a UHEr Inambari de 2,000 MW e LT Inambari (Peru) - Rio Branco (Brasil) com exportação integral da geração de energia para o Brasil.

5.2 MAPEAMENTO DOS EN-IN

O mapeamento dos En-In, vinculados aos RELOs resultantes do módulo de listagem e peneiramento, estão consolidados e categorizados na Tabela 22 e na Tabela 23. O processo de identificação aplicado não é exaustivo, pois devido a limitação de tempo e recursos, não foi possível realizar trabalhos de campo para identificação completa de En-Ins atuantes na geografia dos RELOs avaliados.

Tabela 22. Consolidação dos organismos supranacionais IET.

Relação IET*	Organismos supranacionais														
	UNASUL	ALADI	CEPAL	CIER	OLADE	IIRSA	COSIPLAN	ARPEL	MERCOSUL	CAN	BID	BM	CAF	FONPLATA	FOCEM
Bra-Arg ¹															
Bra-Bol															
Bra-Col															
Bra-Peru															
Bra-Sur															
Bra-Ven															

* Com base nos dados e informações do Capítulo 2 e Capítulo 3.

A identificação utiliza os trabalhos de contextualização da IET-AS, desenvolvido no Capítulo 2, e da revisão bibliométrica e sistemática, aplicada no Capítulo 3, na qual são identificados e sistematizados dois grupos de En-Ins para cada uma das fontes energéticas de IET: (i) organismos supranacionais, de caráter exclusivo ou misto e conformados por estados nacionais, agências, empresas, ONGs e a sociedade civil, ver Tabela 22; e (ii) organismos nacionais, entidades nacionais, estaduais, provinciais,

municipais constituídas por grupos exclusivos ou mistos pertencentes ao um único país, ver Tabela 23.

Tabela 23. Consolidação dos organismos nacionais na IET.

Relação IET*	Organismos nacionais	
	GN	Hidro
Argentina	MEM, Ministerio de Planificación, Secretaria de Energía, ENARGAS, YPF, TGS, TGN, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)	MEM, Ministerio de Planificación, Secretaria de Energía, ENRE, CAMMESA, SADI, MADS.
Bolívia	ANH, MMAYA, YPBF, MHE, EBIH, EEC-GNV, Universidade	ENDE, MMAYA, MHE, CNDC, AETN, YLB, AETN, ABEN, WWF, Laboratorio de hidráulica - Universidad Mayor de San Simón, Instituto de hidráulica e Hidrología - Universidad Mayor de San Andrés
Brasil	MME, MMA, ANP, EPE, Petrobras, IBAMA, FUNAI, IBAMA, ABEGAS, BNDES, Universidades	MME, ANEEL, EPE, ONS, IBAMA, FUNAI, IBAMA, Eletrobras, BNDES, MMA, Universidades, WWF, Greenpeace
Peru	OSIGERMIN, Pluspetrol, MINAM, MINEM, ANA, Oefa, Indecopi, Proinversión, Universidades	OSIGERMIN, MINAM, MINEM, ANA, Oefa, Indecopi, COES, Proinversión, Universidade, WWF, Greenpeace, MAB
Suriname ¹	Ministerie van Natuurlijke Hulpbronnen, Ministerie van Regionale Ontwikkeling en Sport, ministerie van Grond- en Bosbeheer	Ministerie van Natuurlijke Hulpbronnen, Ministerie van Regionale Ontwikkeling en Sport, Ministerie van Grond- en Bosbeheer
Venezuela ²	MIMPET, PDVSA, Pequiven, DUCOLSA, ENAGAS, ORONEGRO, La Alquitrana, SAMH, MINEC	MPPEE, MINEC, Ministerio del Poder Popular para la Agricultura Productiva y las Tierras,

¹ A língua oficial do país é o holandês, o que limita o acesso a documentação. *Adendum*, as organizações supranacionais da AS possuem como idiomas oficiais o espanhol, inglês e o português.¹ ² Países não apresentam plataformas abertas, documentos, sínteses e organogramas da sua estrutura energética.

* Com base nos dados e informações do Capítulo 2 e Capítulo 3.

Uma aplicação de PELP deve conter uma etapa de campo para identificar as entidades de classe e da sociedade civil presentes na geografia da cadeia energética do RELO e do RELD, que geralmente e, principalmente em países em desenvolvimento, são organizadas em núcleos locais, de forma distribuída e sem amparo legal (Fazey *et al.*, 2010).

Essa identificação é primordial para a reinterpretação local, dos elementos da política nacional, com seus próprios requisitos (Butler and Allen, 2008) e dar oportunidade aos envolvidos, desprovidos de recursos evidentes de pressão, financeiros e políticos, para atuar junto aos interessados e tomadores de decisão (Pocock, Steckler and Hanzalova, 2016), que frequentemente monopolizam as discussões e a elaboração de políticas energéticas excluindo à sociedade civil (Lehmann, 2021).

A inserção dos envolvidos resulta em ganhos socioeconômicos que excedem os benefícios energéticos (Guerreiro and Botetzagias, 2018), já que os inserem nas discussões e na transferência de conhecimento tecnológico, de organização e discussões comunitárias.

Relegá-los do processo pode impactar no bloqueio e até na suspensão definitiva de um projeto, ressoando na perda de tempo e de investimentos realizados até então, maculando a imagem do país ou do agente econômico atuante e, muitas vezes, reduzindo o valor de mercado desse agente, como já ocorrido na história com a implantação de UHE na região amazônica (WWF, 2011, 2014; Fearnside, 2014), em parques nacionais nos EUA e Canadá e em campos de E&P de O&G no ártico (Greenpeace, 2021). A história se repete, porém, o desgaste é cada vez mais incidente conforme avançam os mecanismos globais de controle ao avanço das mudanças climáticas.

5.3 APLICAÇÃO DO DPC-IET

5.3.1 Caracterização dos REs

Todas as UTEs são do tipo ciclo combinado, avaliadas sem e com tecnologia de CCS e implantadas em diferentes regiões do Brasil - centro-oeste, sul, sudeste (*onshore* e *offshore*) -, o que varia é a origem da fonte energética, o destino da geração de energia, a inserção ou não de tecnologia de CCS e a CI ($529 \leq CI \leq 930$ MW) das UGs.

Ainda sobre o CCS, o transporte e armazenamento de CO₂ é realizado no local de E&P, ou seja, utilizado como *EOR - enhanced oil recovery* (Global CCS Institute, 2021). No caso das UHEs, os locais de implantação são diversos, há UGs implantadas em rios de fronteira, rio Uruguai e Mamoré, e em rios interiores (nacional), Beni e Inambari. O destino da energia produzida e a CI ($990 \leq CI \leq 3.000$ MW) varia entre as UGs. As características gerais dos RELOs podem ser analisadas na Tabela 24.

Tabela 24. Lista de RELOs e faixas de potência no contexto do Estudo de Caso.

Relação IET	Fonte	Nome	TIPO	CI [MW]	Local Usina	Fonte Energética	Destino Geração
Bra=Arg	GN	UTE Uruguiana	$UTECC_{on}$	640	Bra	Import. Arg.	Bra
Bra=Arg	GN	UTE Uruguiana	$UTECC_{CCS_{on}}$	640	Bra	Import. Arg.	Bra
Bra=Arg	GN	UTE onshore	$UTECC_{on-exp}$	930	Bra	Nacional	Arg
Bra=Arg	GN	UTE onshore	$UTECC_{CCS_{on-exp}}$	930	Bra	Nacional	Arg
Bra=Arg	GN	UTE offshore	$UTECC_{off-exp}$	930	Bra	Nacional	Arg
Bra=Arg	GN	UTE offshore	$UTECC_{CCS_{off-exp}}$	930	Bra	Nacional	Arg
Bra=Arg	Hídrica	UHE Garabi	$UHEa_{bi}$	1,152	Bra-Arg	Rio Uruguai	Bra-Arg
Bra=Arg	Hídrica	UHE Panambi	$UHEa_{bi}$	1,048	Bra-Arg	Rio Uruguai	Bra-Arg
Bra=Bol	GN	UTE Mario Covas	$UTECC_{on}$	529	Bra	Import. Bol.	Bra
Bra=Bol	GN	UTE Mario Covas	$UTECC_{CCS_{on}}$	529	Bra	Import. Bol.	Bra
Bra=Bol	Hídrica	UHE Guajará-Mirim	$UHEa_{bi-exp}$	3,000	Bra-Bol	Rio Mamoré	Bra
Bra=Bol	Hídrica	UHE Cachuela Esperanza	$UHEa_{exp}$	990	Bol	Rio Beni	Bra
Bra=Per	Hídrica	UHE Inambari	$UHEr_{exp}$	2,000	Per	Rio Inambari	Bra

Fonte: Adaptado de Silva (2017; 2022), ONS (2021c), MINEM (2021), MHE (MHE, 2014) e IIRSA (2016b, 2016a).

5.3.2 Dimensão Técnica-Econômica - DTEC

5.3.2.1 Potencial energético

As características técnicas gerais das UGs e dos sistemas de rede vinculados aos RELOs avaliados estão descritos no APÊNDICE B.

As tecnologias de conversão utilizadas nas UTEs são do tipo *Heavy-Duty Gas Turbine* (GT) e *Steam Turbine* (ST) com arranjo 2x1, duas GT para uma ST. O FC adotado é de 85% (Silva *et al.*, 2022), pois uma operação inferior à 80%, com tecnologia CC, não possui competitividade no mercado (IEA and NEA, 2015, 2020). A eficiência de conversão elétrica (ECE) é usualmente adotada em torno de 60% para tecnologias de CC, aqui adota-se 59% (IEA and NEA, 2015, 2020; Leal, Rego and de Oliveira Ribeiro, 2017).

As tecnologias de conversão utilizadas nas UHEs se diferem em relação à altura da queda d'água (H) e com à vazão turbinada (Q) em cada turbina. O número de turbinas implantadas (N^o) está vinculado às condições de projeto: H, Q e a área disponível para a sua instalação.

A característica da operação a fio d'água ou com reservatório baseia-se em estudos técnicos e de impacto ambiental realizados para as UTEs Garabi, Panambi e Inambari (MINEM, 2007; Eletrobras and Ebisa, 2012). No caso das UHEs Guajará-Mirim

e *Cachuela Esperanza*, pela ausência de estudos com acesso aberto para consulta e por fazerem parte do complexo do Madeira (Kelman, 2007; The Bank Information Center, 2009; MHE, 2014; EPE, 2020b) foram consideradas operação a fio d'água.

5.3.2.2 *Facilidade técnica*

A etapa de implantação dos RELOs é dividida em três: (1) estudos prévios; (2) projetos; (3) implantação; e (4) descomissionamento. O tempo das etapas (1) e (2), em geral, são dois anos, independente do RELO. O tempo da etapa (3) varia com o tipo de UG e infraestrutura de transporte; e o da etapa (4) são dois anos para as UTEs e UHE. No caso das UHEs, não é considerado o descomissionamento da barragem (IEA and NEA, 2020; COSIPLAN, 2021d, 2021e, 2021f; Eletrobras, 2021; Jirau Energia, 2021). Ressalta-se que algumas etapas podem ocorrer em paralelo, como a implantação das infraestruturas de geração e transporte.

O tempo de implantação das UHEs nacionais é de cinco anos e das binacionais de seis anos, das UTEs *onshore* e *offshore* são três anos (Oxilia, 2009; IEA and NEA, 2015, 2020; COSIPLAN, 2021e, 2021f, 2021b; Eletrobras Furnas, 2021; Jirau Energia, 2021). Os sistemas de CCS, *onshore* e *offshore*, são implantados em três anos (IEA and NEA, 2020; Global CCS Institute, 2021). Os gasodutos e LT *onshore* variam com a distância e região do traçado e os *offshore* têm o adicional da profundidade do leito oceânico (Silva *et al.*, 2022).

Com base nos cronogramas de implantação dos gasodutos GASBOL, Lateral-Cuiabá, rotas 1, 2 e 3, e LT do norte amazônico, a implantação da infraestrutura de rede *onshore* e *offshore*, independentemente da distância e traçado, é considerada dois anos para os gasodutos, três anos para as LT das UTEs *onshore* e das UHEs do sul do Brasil e cinco anos para a LT *offshore* e das UHEs do norte do Brasil (Oxilia, 2009; Guimaraes, Figueiredo and Bonjour, 2010; Aneel, 2020). Portanto, o *Tempo de Implantação* dos RELOs variam de 9-10 anos, ver Tabela 25.

Tabela 25. Consolidação do atributo Facilidade Técnica.

Facilidade Técnica		UTE Urug	UTE on	UTE off	UTE Mário Covas	UHE Garabi	UHE Panambi	UHE Guajará-Mirim	UHE Cachuela Esperanza	UHE Inambari
Tempo de Implantação	anos	07	07	09	07	10	10	10	09	09
DGCC - LT	USD/MWh	2,4	1,3	11,6	0,1	0,2	2,7	4,1	6,3	15,6
DGCC – Duto GN	USD/MWh	3,0	2,0	-	1,5	-	-	-	-	-
DGCC – total	USD/MWh	5,4	3,23	11,6	1,6	0,2	2,7	4,1	6,3	15,6

O custo da rede de transporte varia com o tipo de local do modal. A determinação custo do subatributo *Distância da Geração ao Centro de Consumo* (DGCC) considera o CAPEX⁷², OPEX (1% e 0,5% do CAPEX para as LT e gasodutos, respectivamente)⁷³, tempo de vida útil (p) de 30 anos⁷⁴, taxa de desconto (r) de 10%⁷⁵, geração estimada (Eg) das UGs, extensão estruturas de rede (Ext), diâmetro do gasoduto (D), local de implantação da cadeia do RELO para determinar o IDGCC das infraestruturas de rede.

O IDGCC valorado para as LT varia de 0,1-15,6 USD/MWh e dos gasodutos de 1,5-3,0 USD/MWh, demonstrando que as distâncias entre a fornecimento do combustível, geração e conexão à subestação do SIN impactam no IDGCC, ver Tabela 25.

5.3.2.3 Confiabilidade

A *Confiabilidade* é a tríade *Disponibilidade, Intermittência e Qualidade da Energia*. A *Disponibilidade* dos RELOs depende primordialmente do fornecimento do combustível, para o caso das UTEs, e das mudanças climáticas, para as UHEs, além das interrupções não previstas devido a falhas na cadeia do sistema.

No estudo de caso, dado os altos valores das CI das UTEs e UHEs e por considerar FC conservadores, a disponibilidade ($Disp_0$) das UHEs com reservatório é de 97% e a fio d'água de 95% (Baitelo, 2011) e das UTEs com GN importado e nacional é de 85% e 95%, respectivamente. Portanto, $Disp_0$ varia entre 85-97%, o que resulta em $Disp_0 \geq FC$ e $FD \geq Eg$ para todos os RELOs avaliados, ver Tabela 26.

⁷² CAPEX com base em infraestruturas existentes e estudadas (Guimaraes, Figueiredo and Bonjour, 2010; COSIPLAN, 2021e, 2021f, 2021d, 2021b, 2021c, 2021i; GasOcidente, 2021; Silva *et al.*, 2022). A determinação do CAPEX também considera a relação metrópole para os gasodutos e do local de implantação das LT, onshore e offshore. Além disso, no caso do gasoduto offshore é adicionado 25% ao CAPEX, por ser uma estrutura pioneira na região (IEA and NEA, 2015). Todos os valores são trazidos para valor presente.

⁷³ r de 10%, correspondente a um investimento em ambiente de contratação e regulação de alto risco e comumente adotado na bibliografia (IEA and NEA, 2015, 2020; Leal, Rego and de Oliveira Ribeiro, 2017; Silva *et al.*, 2022).

⁷⁴ r de 30 anos é adotado na bibliografia (IEA and NEA, 2015, 2020; Leal, Rego and de Oliveira Ribeiro, 2017; Silva *et al.*, 2022).

⁷⁵ Com base em IEA (2020) e Silva (2022)

A *Intermitência* aqui é dado pelo FC dos RELOs avaliados e varia entre 59-89%. No caso da *Qualidade da Energia (QL)*, é assumido que os indicadores de robustez da rede básica (RRB-%), duração equivalente de interrupção de carga (DREQ-min), frequência equivalente de interrupção de carga (FREQ), energia não suprida (ENS-%) são iguais ao melhor desempenho para o quinquênio para a região, a qual a UG está inserida (ONS, 2021b).

Além disso, o critério de confiança da UHE Guajará-Mirim é n-2, pois essa UG serve de conexão para a UHE *Cachuela Esperanza* e conecta à subestação da UHE Jirau, ou seja, a sua interrupção pode causar distúrbio no sistema, superior as outras UGs, que neste caso possuem critério de confiança n-1, ver Tabela 26.

Tabela 26. Consolidação do atributo Confiabilidade.

Confiabilidade		UTE Urug	UTE on	UTE off	UTE Mário Covas	UHE Garabi	UHE Panambi	UHE Guajará-Mirim	UHE Cachuela Esperanza	UHE Inambari
Disponibilidade	%	85	95	95	85	95	95	95	95	97
	GWh/ano	4.765	7.739	7.739	3.940	9.587	8.721	24.966	8.239	16.994
Intermitência	%	85	85	85	85	59	60	57	66	89
Qualidade da Energia - QL	RRB [%]	93,98	96,74	96,74	96,74	93,98	93,98	95,00	95,00	95,00
	DREQ [min]	3,26	5,64	5,64	5,64	3,26	3,26	15,87	15,87	15,87
	FREQ	0,07	0,12	0,12	0,12	0,07	0,07	0,84	0,84	0,84
	ENS [%]	0,0018	0,0016	0,0016	0,0016	0,0018	0,0018	0,0078	0,0078	0,0078
	Critério confiança	n-1	n-1	n-1	n-1	n-1	n-1	n-2	n-1	n-1

5.3.2.4 Domínio tecnológico

O atributo *Domínio Tecnológico* é avaliado no contexto regional e não exclusivamente do país, o qual está implantada cadeia energética do RELO, que possui décadas de experiência na implantação e operação de UHE nacionais e binacionais, UTE, gasodutos e LT *onshore*, e gasodutos *offshore*.

No caso das UTEs *offshore* do tipo GtW, por ser um novo conceito no contexto da geografia avaliada (S. G. Relva *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020a), não há uma ampla rede de serviços específicos, porém, há expertise na implantação e operação de E&P de petróleo e GN *offshore* por parte do Brasil, com unidades de gasodutos de escoamento *offshore* com capacidade de 21 MMm³/dia em operação e geração de energia em UTE *offshore* para o atendimento das plataformas de E&P.

Portanto, com base na adaptação do índice de nacionalização do BNDES (2021) e em dados da IADB (2020b), considerando as tecnologias de geração *offshore* e de CCS 100% importadas, e das LT e gasodutos *offshore* 60% e 15% importadas, respectivamente. O índice de domínio tecnológico (ID_{dt}) dos RELOs avaliados variam de 40-100%, sendo o ID_{dt} de: (i) 100% para as UHEs (Baitelo, 2011); (ii) 92% para a UTE sem CCS e 86% para as UTEs com CCS, com cadeia energética plenamente *onshore*; (iii) 78% para UTE_{on} sem CCS e 62% para a UTE_{on} com CCS; e (iv) 60% para a UTE_{off} sem CCS e 40% para a UTE_{off} com CCS, ver Tabela 27.

Tabela 27. Consolidação do atributo Domínio Tecnológico.

Domínio Tecnológico	UTE Urug		UTE on		UTE off		UTE Mário Covas		UHE Garabi	UHE Panambi	UHE Guajará-Mirim	UHE Cachuela Esperanza	UHE Inambari
	s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS					
ID_{dt}	92	86	78	62	60	40	92	86	100	100	100	100	100

5.3.2.5 Custo de geração

O cálculo do custo da energia, valorado pelo LCOE, considera *Vida Útil* (p) de 30 anos e *Taxa de Desconto* (r) de 10%, como aplicado no atributo *Facilidade Técnica*. As características técnicas das UGs e das redes de transporte já foram categorizadas, assim como o custo de custo CT_{transp} , determinado no subatributo *DGCC*.

No caso da tecnologia de CCS considera-se o FC das UTEs, taxa de captura de CO₂ de 90%, Ext do duto de transporte do CO₂ igual ao do gasoduto vinculado à UTE e armazenamento do tipo EOR no local de extração do GN. O CAPEX e OPEX de captura, transporte e armazenamento são obtidos em ZEP (2011), ver Tabela 28.

Tabela 28. Consolidação das premissas e resultados do Custo do CCS.

CCS	Unid.	UTE Uru c/ CCS	UTE on c/ CCS	UTE off c/ CCS	UTE Mario Covas s/ CCS
FC	%	85%	85%	85%	85%
Taxa Cap CO ₂	%	90%	90%	90%	90%
Ext	km	480	359	-	284
CAPEX – cap	USD/ton	78,4	78,4	78,4	78,4
CAPEX – cap	USD/MWh	25,7	25,7	25,7	25,7
CAPEX - transp.	USD/ton	6,3	6,3	6,3	6,3
CAPEX - transp.	USD/MWh	2,1	2,1	2,1	2,1
CAPEX – armazen.	USD/ton	6,3	6,3	6,3	6,3
CAPEX – armazen.	USD/MWh	2,1	2,1	2,1	2,1
OPEX	USD/ton	1,9	1,9	1,9	1,9
OPEX	USD/ton	0,6	0,6	0,6	0,6
LCOE	USD/MWh	2,33	2,33	2,21	2,33

As taxas de emissão são extraídas dos atributos *Poluentes Atmosféricos e Gases de Efeito Estufa*, que permitem analisar a sensibilidade da inserção do *Custo de Emissão de Carbono*⁷⁶ no custo total de geração das UTEs.

O custo de aquisição de combustível *Comb*, inexistente nas UHEs, varia com local de aquisição, taxa de transporte do gasoduto e imposto fixo de 24% (MME, 2018a, 2021; EPE, 2020c). No caso da UTE *offshore*, o valor do GN é o praticado pelo produtor na boca do poço e também considera os impostos federais⁷⁷. Neste caso, são excluídos taxa do transportador, pois considera-se que a geração ocorra adjunta a E&P.

O custo de investimento total (I_{tot}), o CAPEX, e o custo de *overnight* são obtidos em NEA-IEA (2015, 2020), a partir de UG com índices CI e ECE semelhantes às UG avaliadas, e de Windén (2014) para a UTE *offshore*; o custo de descomissionamento do sistema *Desc* é considerado 5% do I_{tot} (IEA and NEA, 2015, 2020); custos de O&M fixo e variável para conformação do custo total $O\&M_{tot}$ são extraídos de Mirjat (2018; 2018) e Windén (2014), ver Tabela 46 no APÊNDICE G.

⁷⁶ Dado o avanço internacional decorrente das discussões da Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima de 2021 - 26ª conferência das partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP26) – sobre a regulamentação do mercado de carbono. Avaliar os custos de emissão de carbono vinculado às UG é primordial para determinar o impacto da introdução desses custos na viabilidade econômica dos projetos – podem ser positivos no sentido de diminuir as emissões, mas ao mesmo tempo pode aumentar o preço da energia, caso seja implantado sem um planejamento e definição de política pública. No caso do Brasil, essa regulamentação é discutida no projeto de lei PL 2.148/15.

⁷⁷ PIS/COFINS.

O cálculo do LCOE permite comparar as diferentes modalidades de UG e o emprego de tecnologia de CCS nas UTEs e a inserção ou não dos custos de emissão. Os resultados demonstram que sem a consideração de custo de emissão de CO₂, 15 USD/tonCO₂⁷⁸ (Leal, Rego and de Oliveira Ribeiro, 2017), as UHEs apresentam o menor LCOE entre as UGs, variando de 39,45-55,42 USD/MWh, sendo o menor LCOE da UHE Inambari, o que está relacionado a existência de reservatório, que por sua vez, garante maior FC e menor custo de O&M. No caso das UTEs, quando comparado as opções sem e com CCS, a primeira apresenta os menores LCOE, 42,97-75,55 USD/MWh, enquanto a segunda varia de 45,29-77,88 MWh, sendo as UTEs *on* e *off* com menor custo, o que se deve ao custo de combustível, principal custo das UTEs, ver Tabela 46 no APÊNDICE G.

Por outro lado, se inserido o custo da emissão de CO₂ a UHE Inambari passa de menor LCOE para o maior LCOE. A inversão de custos também ocorre para as UTEs, em que as UGs com CCS passam a apresentar os menores LCOE, 53,02-82,48 USD/MWh, em relação as UGs sem CCS, 74,36-12,49 USD/MWh. Entre as UTEs, as que utilizam GN offshore continuam apresentando os menores LCOE, ver Tabela 46 no APÊNDICE G.

Portanto, a inserção ou não de custo de CO₂ no custo completo de uma UG impacta incisivamente no seu valor, no caso das UHEs, as tornam impraticáveis de serem implantadas dado o seu alto LCOE, superior às UG mais caras encontradas nos documento do IEA (2015, 2020), já para as UTEs viabiliza a utilização de tecnologia de CCS, reduzindo, mas não zerando, o impacto das emissões deste tipo de UG.

5.3.3 Dimensão Ambiental - DAMB

5.3.3.1 Poluentes Atmosféricos

A valoração dos *Poluentes Atmosféricos* vinculados a cadeia energética dos RELOs avaliados contempla, para as UTEs, as etapas de E&P, processamento e transporte do GN até a UTE e a geração de energia. Para as UHEs são consideradas as

⁷⁸ O Custo de Emissão de CO₂ utilizado é metade dos valores utilizados nas modelagens do NEA-IEA (IEA and NEA, 2020).

emissões vinculadas a área alagada do reservatório. A Tabela 47 no APÊNDICE G apresenta as premissas e os valores absolutos, agregados (CO₂ equivalente) e desagregados (CO₂, CH₄, NO_x, SO_x), das emissões de poluentes atmosféricos dos RELOs.

As premissas de emissão da cadeia energética do GN, da E&P até o transporte à UTE, são extraídos de ABCM (2013), da geração é determinado pela média de emissões de três UTE *benchmark* contidas em IEMA (2016). Para as UTEs com CCS, foi subtraído o CO₂ capturado e armazenado na geração. Já as premissas de emissões das UHEs foram selecionadas com base na análise de diferentes modelos de emissão para UHE (Nautiyal and Goel, 2020; Levasseur *et al.*, 2021), sendo selecionado o modelo de Scherer and Pfister (2016), pois este modelo avalia as emissões de 1.500 UHE, sendo diversas na AS e inclusive nas regiões de implantação das UGs do estudo de caso.

Os resultados demonstram que para as UTEs as maiores emissões correm na geração (72%), seguido do processamento (7%), E&P (7%) e transporte (2%). Quando adicionado a tecnologia CCS, a geração e em alguns casos se torna inferior as emissões do processamento, como no caso da UTE Mário Covas c/ CCS, em que as parcelas são 52% e 35% para o processamento e geração com CCS, respectivamente. Isso demonstra, que os vazamentos na produção e distribuição continuam a limitar o papel das UTEs c/ CSS, quando o objetivo é a redução das emissões atmosféricas (Babae and Loughlin, 2017).

Mesmo as UHEs, convencionalmente categorizadas como renováveis, quando avaliadas as emissões indiretas da geração de energia, verifica-se que devido à ação biogênica nos seus reservatórios emitem grandes volumes de CH₄ e CO₂ (Demarty and Bastien, 2011; Scherer and Pfister, 2016; Nautiyal and Goel, 2020; Kumar *et al.*, 2021; Levasseur *et al.*, 2021), inclusive superiores aos emitidos pelas UTEs, ver Tabela 47 no APÊNDICE G.

5.3.3.2 Gases de Efeito Estufa

As emissões de GGE da cadeia energética dos RELOs, ver Tabela 47, é calculada com base nas emissões obtidas no atributo *Poluentes Atmosféricos* e utilizando o *Global Warm Potential* (GWP), do *Fifth Assessment Report* (AR5) do IPCC (IPCC, 2014; Myhre, G. *et al.*, 2015).

Os resultados demonstram, como de se esperar, dada a discussão realizada nos Capítulos 5.3.2.5 e 5.3.3.1, que as maiores emissões ocorrem nas UHEs ($26,5-75,6 \times 10^6$ tonCO_{2e}/ano), seguido pelas UTEs sem CCS ($2,0-3,5 \times 10^6$ tonCO_{2e}/ano) e com CCS ($0,9-1,5 \times 10^6$ tonCO_{2e}/ano), ver Tabela 47.

Esse índice é importante para a avaliação, pois o maior emissor é a UHE Inambari ($75,6 \times 10^6$ tonCO_{2e}/ano), implantada em território peruano com exportação integral da energia gerada para o Brasil. Neste caso, as emissões são computadas apenas no país gerador, enquanto o importador retém o bônus da energia firme sem o ônus das emissões de GEE. Mesmo que em escala menor, no caso das UTEs, o país exportador de GN retém grande parte do ônus das emissões de GEE, já que entre 20-30% das emissões vinculadas a geração de energia ocorrem nas etapas de E&P e processamento do GN.

5.3.3.3 Gases Degradantes da Camada de Ozônio

Com base no levantamento bibliográfico desta tese, não foram encontradas premissas ou exemplos de emissões de GDCO ao longo da cadeia energética para os RELOs avaliados.

5.3.3.4 Captação e Consumo de Recursos Hídricos

A valoração da *Captação e Consumo de Recursos Hídricos* utilizada como premissas a média de captação (cap) e consumo (cons) nas UGs com base nas tecnologias de conversão GT e ST e CCS das UTEs e na característica de CI das UHEs, fornecidos em m³/MWh (PIER and WPRI, 2002; Dennen *et al.*, 2007; Nouri *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2020), ver Tabela 48. Embora as outras etapas da cadeia energética, como a extração, processamento e transporte de GN e transmissão de eletricidade consumam água, a quantidade é insignificante em relação aos processos de resfriamento e geração

nas UGs (Viscondi *et al.*, 2016; Nouri *et al.*, 2019). Portanto, o *cap* e *cons* dessas etapas e a água contida dos reservatórios das UHEs são desconsiderados na avaliação.

Os resultados demonstram que as UTEs são mais intensivas em captação e consumo de água do que as UHEs. As UTEs captam 317 m³/MWh, porém seu consumo aumenta com a introdução de tecnologia CCS, de 1,7 m³/MWh para 2,1 m³/MWh, esse aumento está vinculado ao maior consumo na etapa de armazenamento do CO₂ e fica evidente quando analisado os valores absolutos. Na UTE_{off} sem CCS o consumo é de 12 m³/MWh, na UTE_{off} com CCS é de 15 m³/MWh. As UHEs captam 76 m³/MWh e consomem 1,3 m³/MWh. Em termos absolutos, as UHEs Guajará-Mirim e Inambari são as que mais consomem, 22 e 20 m³/MWh cada, mas também apresentam as maiores gerações, ver Tabela 48 no APÊNDICE G.

Posteriormente, esses dados podem ser comparados com os indicadores de comprometimento hídrico (individual, do trecho e de consumo limite de água) para a bacia, a qual é captado, consumido e lançado o recurso hídrico da UG (IEMA, 2015).

5.3.3.5 Qualidade da Água

O represamento de água para as UHEs pode causar o aumento da concentração de material orgânico e nutrientes, de cunho autóctone e alóctone, que ocasionam a proliferação de algas e vegetais superiores, que durante a sua decomposição deplecionam o oxigênio dissolvido na água, resultando na eutrofização do rio, aumento da DBO e do pH e restringe os seus usos múltiplos (CETESB, 2021).

Esse represamento em regiões com exploração ilegal de ouro, como no Complexo do Madeira, geografia das UHEs Guajará-Mirim e *Cachuela Esperanza*, causa o aumento da concentração de mercúrio presente nos sedimentos, resultando no aumento da toxicidade do rio (Fearnside, 2014, 2015b). Esse acúmulo de mercúrio é prejudicial à ictiofauna e ao consumo humano. Além disso, na região de implantação das UHEs com a Bolívia e o Peru, há a intensificação de enfermidade tropicais, como a malária (Soares, 2017), que ocorrem devido ao desequilíbrio do bioma ocasionado pelo desmatamento (Carpio, 2001; Fearnside, 2015b).

Portanto, as UHEs impactam indiretamente na Qualidade da Água, uma vez que não há descarte direto e efluentes ou resíduos nos corpos d'água, mas a existência da estrutura física da UG impacta no fluxo e nas condições do recurso hídrico.

As UTEs, por sua vez, captam e consomem recursos hídricos para o resfriamento das turbinas e para a alimentação das ST. Porém, a água utilizada no processo advém de lagoas de processo, confinadas na área de operação dessas unidades e a água quando é descartada nos corpos d'água passam por processos de tratamento de qualidade – algumas UTEs descartam água com qualidade superior captada do curso d'água (Petrobras, 2018) – e diminuição da temperatura, diferença máxima de 3 °C entre o descarte e a captação (CH2M Hill, 2017).

Um dos impactos indiretos das UTEs nos corpos d'água resulta da emissão de SO_x na atmosfera, que são inseridos nos corpos d'água pelas chuvas, porém, as UTEs à GN emitem pouco SO_x resultando em insignificante alteração do pH (Viscondi, Silva and Cunha, 2016; USEPA, 2017).

5.3.3.6 Ocupação do Solo

A *Ocupação do solo* considera a cadeia de transporte de combustível e de CO₂ por dutos, as LT e área de implantação da UG, que contempla parque gerador, subestação e área de manobra e serviço. No caso das redes de transporte é considerada uma faixa de servidão de 30 m para toda a extensão (Ext) do traçado (EPE, 2019). Para diminuir a área de ocupação, os dutos de transporte de CO₂ utilizam a mesma faixa do gasoduto (EPE, 2019).

A área de implantação das UTE_{off} com CCS foi considerada 33% maior que a área da UTE_{off} sem CCS (Palmer-Wilson *et al.*, 2019; Siemens Energy, 2020) e para as outras UTEs, a área foi definida com base em Palmer-Wilson *et al.* (2019). Vale ressaltar, que embora essas unidades *offshore* ocupem área oceânica, sua avaliação foi considerada neste estudo. Em relação a área das UHEs, é considerada apenas a área do reservatório, que em geral representa mais de 98% da área total da UHE (Palmer-Wilson *et al.*, 2019; Eletrobras Furnas, 2021; Jirau Energia, 2021), ver Tabela 29.

Tabela 29. Consolidação das premissas e resultados da Ocupação do Solo.

Ocupação do Solo		UTE Uruguiana		UTE onshore		UTE offshore		UTE Mário Covas		UHE Garabi	UHE Panambi	UHE Guajará-Mirim	UHE Cachuela Esperanza	UHE Inambari
		s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS					
UG	km ²	0,2	0,3	0,3	0,4	0,02	0,02	0,2	0,2	642	327	356	730	410
LT	km ²	4	4	2	2	13	13	0,2	0,2	0,2	3	5	5	18
Duto	km ²	14	14	11	11	-	-	9	9	-	-	-	-	-
Total	km ²	18	19	13	13	13	13	9	9	642	330	361	735	428
Total	km ² /GW	29	29	14	14	14	14	17	17	557	315	120	743	214

As UHEs apresentam as maiores ocupações do solo, variando entre 120-743 km²/GW, valor esperado dado a ampla área ocupada pelos reservatórios das UHEs. No caso das UTEs, as maiores áreas estão vinculadas as áreas de servidão dos dutos, 9-14 km², e LT, 0,2-13 km², e as menores a área de implantação das UGs, 0,02-0,4 km², ver Tabela 29.

5.3.3.7 Poluição e Degradação do Solo

A Poluição e Degradação do Solo (PDS) dos RELOs ocorrem de forma antrópica durante as etapas de implantação, extração, produção, transporte de GN, transporte e armazenamento de CO₂, represamento de água e geração de energia, ou seja, ao longo da toda a cadeia energética do RELO.

A valoração do PDS conforme definido no modelo da tese, não é aplicada devido à falta de dados quantitativos para os processos de degradação do solo em decorrência da implantação de um RELO. Porém, é feito um descritivo dos principais efeitos ocasionados por cada RELO, que devem ser valorados na etapa de definição da viabilidade no PELP.

As UTEs durante a sua operação impactam principalmente na acidificação do solo, devido as emissões de SO_x. As UHEs degradam a região adjacente ao reservatório causando erosão das margens, devido a variação do nível d'água. Além disso, o represamento aumenta a retenção de sólidos no fundo e em suspensão, com possível assoreamento e perda de capacidade de armazenamento. Na jusante também há erosão devido à falta de reposição natural de sólidos que ficam retidos a montante (Carpio, 2001).

5.3.4 Dimensão Política - DPOL

5.3.4.1 Disponibilidade dos recursos energéticos

A Posse da fonte energéticas, GN e hídrica, é de caráter público e de direito fundamental e exclusivo da União dos Estados nacionais, aos quais elas estão contidas e exploradas, ver Tabela 30.

Tabela 30. Consolidação de resultados do subtributo Posse.

Posse	Argentina	Bolívia	Brasil
GN	Público da União	Público da União	Público da União
Hídrica	Público da União – usos múltiplos	Público da União – usos múltiplos	Público da União – usos múltiplos

No caso da fonte hídrica, é importante ressaltar que o recurso é de usos múltiplos e com preferência de uso - primeiro social (consumo humano), posteriormente irrigação, e por fim, atendimento aos outros setores da economia (Brasil, 1988; Argentina, 1994; STF, 2007; Corrêa and Sanchez, 2008; Bolivia, 2009; L. A. Rodrigues, 2012; EPE, 2018a; Silva *et al.*, 2020b). Quanto ao potencial de IET da fonte energética, já foi valorado no módulo Listagem e Peneiramento e caracterizado no subitem 5.3.1.

A *Propriedade* de cada etapa da cadeia energética de RELO semelhantes aos do estudo de caso possuem variadas classificações nos três países avaliados (Argentina, Bolívia e Brasil). Em todas as etapas e países há diversas naturezas de empresas atuando ao longo da cadeia energética. Com ressalva para a fonte hídrica que não possui propriedade, sendo considerada posse exclusiva da União, e para as UHEs binacionais e suas respectivas LT são de empresas Estatais.

Portanto, o recurso energético disponível para exploração é de propriedade de concessionário, que pode ser de natureza *Privada, Estatal, Empresa de Economia Mista* (EEM) e *Estrangeira*, assim, como os seus serviços correlatos (Brasil, 1988; Argentina, 1994; STF, 2007; Corrêa and Sanchez, 2008; Bolivia, 2009; L. A. Rodrigues, 2012; Abreu Junior, 2015; Matiello and Queluz, 2015; Udaeta *et al.*, 2015; TBG, 2016; TBS, 2016, 2018; Flores, 2017; Oxilia *et al.*, 2017; Villazón *et al.*, 2017; David, 2017; EPE, 2018a, 2019, 2020a; MME, 2018a, 2021; Silva *et al.*, 2018, 2020b; Vásquez, 2018; Balderrama

et al., 2019; Paes *et al.*, 2019; DNEP, 2019; Cianciarullo, 2020; DOU, 2021; Gas Ocidente, 2021; COSIPLAN, 2021c).

O mesmo ocorre com o domínio da tecnologia, porém com ressalvas entre os países e etapas da cadeia energética, como no caso boliviano, que apresenta maior dependência regional e internacional para fornecimento de equipamentos e serviços para o atendimento das cadeias energéticas, e do brasileiro, com maior autonomia nacional, principalmente para a cadeia da fonte hídrica, ver Tabela 31.

Tabela 31. Consolidação de resultados do subatributo Propriedade.

Fonte	Cadeia Energética	Argentina	Bolívia	Brasil
GN	E&P	· Privada, Estatal, EEM e Estrangeira · Regional	· Privada, Estatal, EEM e Estrangeira · Regional	· Privada, Estatal e EEM · Nacional
	Processamento	· Privada, Estatal e EEM · Internacional	· Estatal e EEM · Internacional	· Privada, Estatal e EEM · Internacional
	Transporte	· Privada, Estatal, EEM e Estrangeira · Regional	· Privada, Estatal, EEM e Estrangeira · Regional	· Privada, Estatal e EEM · Nacional
	Geração	· Privada, Estatal e EEM · Internacional	· Privada, Estatal e EEM · Internacional	· Privada, Estatal e EEM · Internacional
	Transmissão	· Privada, Estatal e EEM · Nacional	· Privada, Estatal e EEM · Regional	· Privada, Estatal e EEM · Nacional
Hídrica binacional	Geração	· Estatal · Regional	· Estatal · Regional	· Estatal · Nacional
	Transmissão	· Estatal · Nacional	· Estatal · Regional	· Estatal · Nacional
Hídrica nacional	Geração	· Privada, Estatal e EEM · Regional	· Privada, Estatal e EEM · Regional	· Privada, Estatal e EEM · Nacional
	Transmissão	· Privada, Estatal e EEM · Nacional	· Privada, Estatal e EEM · Regional	· Privada, Estatal e EEM · Nacional

Como já discutido e apresentado no Capítulo 2, ao longo dos anos de operação da cadeia energética vinculada a IET do GN, por diversas vezes ocorreram restrições de exportação da fonte para o país importador, ocasionando paradas nas UTEs e disputas judiciais, que são resultado da inexistência de ente definido para arbitragem, gerando, portanto prejuízos para empresas e Estados (Faria *et al.*, 2016).

As UHEs binacionais nunca deixaram de fornecer energia para os países detentores da infraestrutura, porém, já houve renegociação do valor da energia importada fora do escopo dos tratados, por motivo político nacional. Porém, sem afetar o fornecimento, como ocorrido com o GN. A importação de eletricidade de UHE nacional da Venezuela, para atendimento da carga da cidade de Boa Vista/RR, já foi suspensa algumas vezes devido à escassez hídrica na Venezuela, (Nina, 2020). O mesmo ocorreu com a importação de eletricidade do sistema interligado nacional argentino e paraguaio (L. A. Rodrigues, 2012).

A valoração do subatributo *Integração Energética* utiliza diversos subatributos avaliados e o mapeamento da IET existente na região de análise. Essa avaliação demonstra que os países possuem relações diplomáticas antigas e consolidadas, com fluxo de pessoas e mercadorias intenso ao longo de toda a fronteira, com regras mútuas de vistos e codificação de produtos. Além disso, os países cooperam em diversos organismos multilaterais das mais distintas matizes (políticas, econômicas e técnicas) e níveis de relação (chefes de estado, empresas, agências reguladoras, sociedades de classe), o que facilita o diálogo e uniformização de bases de dados, desenho de mercado e regulação e cooperação técnica. Porém, mesmo com essa estrutura institucional, as relações de IET na região ainda são realizadas de forma *ad-hoc* para cada empreendimento, ver Tabela 32.

Tabela 32. Consolidação de resultados da Integração Energética.

Integração Energética	Arg-Bra	Bra-Bol	Bra-Peru
Qualidade Diplomática	Alta	Alta	Alta
Participação mútua em organismos multilaterais	Alta – 14	Média – 11	Média – 11
Acordos e regramentos energéticos	Alta	Média	Baixa
Localização das fontes energética ¹	Alta – fronteira	Alta – fronteira	Baixa – território nacional
Infraestrutura de rede	Alta – LT	Média – Gasoduto	Inexistente
Contratos de fornecimento de energia	Médio	Alta	Inexistente
Qualidade do comércio de energia	Baixa	Alta	Inexistente
Ampliação do comércio de RE	Previsão	Previsão	Previsão
Compartilhamento de UG	Sim – LT	Sim – Gasodutos	Não
Comércio de tecnologias	Sim	Sim	Não

¹ Demonstrado na caracterização do RE.

Embora haja infraestrutura de rede e comércio de energia entre Arg-Bra e Bra-Bol, e estudos e previsão de implantação de empreendimentos energéticos entre Arg-Bra, Bra-Bol e Bra-Peru, o histórico das relações comerciais de energia – excluindo do Bra-Peru que é inexistente salvo pequenos volumes de combustíveis líquidos na região de fronteira – demonstra que riscos contratuais existem, que o processo de arbitragem e renegociação não é trivial e exige a participação de ambos estados nacionais. Inclusive as crises de desabastecimento são ocasionadas por decisões de Estado que impactam diretamente nas relações comerciais e principalmente na operação da geração do país afetado pela falta de fornecimento. Há histórico de quebra de contratos de fornecimento firme de energia e GN na relação Arg-Bra, resultando na reconfiguração dos contratos, que passaram a ter caráter de fornecimento interruptível, e reduzindo a qualidade do comércio de energia.

Por outro lado, os riscos econômicos e financeiros da energia transacionada são baixos, uma vez que realizada a comercialização, os valores comercializados são pagos devidamente. Em termos técnicos (O&M da infraestrutura), as relações são consolidadas, com o intercâmbio de equipamentos e serviços realizados por empresas da região, sem necessidade de importação de outros países, ou seja, não há restrições deste tipo.

Portanto, para os RELOs avaliados, a IET tem diversos indicadores favoráveis à sua implantação – ampliação do comércio, geração de receita para o país exportador, fortalecimento das relações comerciais, institucionais e técnicas -, mas com ressalvas quanto ao desenho de arbitragem de controvérsias e a garantia de fornecimento de energia – molécula de GN ou elétron -no LP por motivos técnicos e disponibilidade de reservas.

5.3.4.2 *Apoio político*

A valoração do atributo *Apoio Político* específico para o desenvolvimento de projetos de IET se baseou nos En-In identificados em cada país e da caracterização dos RELOs avaliados, resultando na determinação dos subatributos *Instrumentos Políticos* e *Aspectos Legais*.

Os *Instrumentos Políticos* demonstram que os países possuem estrutura regulatória e de planejamento energético vinculados aos seus ministérios de energia e meio ambiente, porém não há política pública de incentivo a projetos de IET, o que há são indicativos de implantação de infraestrutura de rede em seus planejamentos energéticos nacionais e estudos específicos para avaliação de implantação de UG binacionais ou para exportação de energia.

Existem mecanismos de leilões para a implantação de infraestrutura de rede e de geração, como na Argentina, no Brasil e Peru (OLADE, 2020b), que resultaram na expansão de 80% da CI de renováveis (Viscidi and Yépez-García, 2020), que poderiam ser aproveitados e harmonizados para a construção de empreendimentos de IET.

Os resultados desses leilões poderiam servir como indicador de preço na consideração de novos projetos, como os representados na Tabela 33, que demonstra a potência, geração e preço médio da energia contratada nos leilões de energia dos países avaliados⁷⁹. Os valores entre parênteses representam o intervalo mínimo e máximo.

Tabela 33. Consolidação de resultados dos leilões de energia – Instrumentos Políticos.

Instrumentos Políticos – Leilões ¹		Argentina	Brasil	Peru
Potência contratada	MW	1.117 (634-1.409)	5.343 (302-14.075)	262 (21-430)
Geração contratada	GWh	3.953 (2.344-5.304)	-	1.232 (104-1.887)
Custo médio de contratação	USD/MWh	53,78 (47,60-61,40)	34,88 (19,00-63,40)	59,10 (43,10-81,20)

¹ Valores médios (mínimos – máximos) realizados nos leilões.

Fonte: Adaptado de OLADE (2020b).

Quanto aos *Aspectos legais*, os países possuem diversas agências de estado envolvidas no processo de aprovação de um projeto energético, ver Tabela 34. Uma característica comum na região são os estudos de avaliação de impacto ambiental (EIA) exigidos em todos os países para a liberação de licenças para a implantação e operação de um projeto energético. O que destoam são as características regulatórias intrínsecas à aprovação de licenças, que variam entre os países.

⁷⁹ A Bolívia não possui Instrumento Político do tipo Leilão implantado no país (OLADE, 2020b).

Tabela 34. Consolidação dos agentes envolvidos nos Aspecto Legais por tipo de Fonte Energética.

Agências	Fonte Energética*	
	GN	Hidro
Argentina	MEM, Secretaria de Energía, ENARGAS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)	MEM, Secretaria de Energía, CMMESA, MADS.
Bolívia	ANH, MMAYA, MHE e EBIH	ENDE, MMAYA e MHE.
Brasil	MME, MMA, ANP, EPE, IBAMA e FUNAI	MME, ANEEL, EPE, EM, IBAMA, FUNAI, IBAMA, Eletrobras, BNDES, MMA, Universidades, WWF, Greenpeace
Peru	OSIGERMIN, MINAM, MINEM, ANA e Oefa.	OSIGERMIN, MINAM, MINEM, ANA e Oefa.

* Com base no mapeamento de En-In.

O Brasil possui uma estrutura trifásica (Licença Prévia – LP, Licença de Instalação – LI e Licença de Operação – LO) de aprovação e liberação do licenciamento ambiental de projetos energéticos, e talvez seja o único país com esse tipo de estrutura (BM, 2008), resultando em maiores tempos e custos totais na implantação desses projetos, tornando-se um gargalo e de referência de tempo e custos na avaliação dos RELOs.

A Figura 23 apresenta os tempos reais para a realização de diversas etapas do processo de licenciamento ambiental de projetos energéticos no Brasil e o tempo previsto pelo IBAMA, para realização dessas etapas, deixando evidente que os tempos previstos menores que os tempos reais incorridos em todas as etapas. No caso dos custos, não foram identificados documentos para a realização de avaliação e sistematização de dados.

	Dias até o envio do TdR pelo IBAMA ao empreendedor (n=20)	Dias até a entrega do EIA/RIMA ao Ibama (n=13)	Dias até a primeira audiência pública (n=13)	Dias até a última audiência pública (n=12)	Dias até a emissão da LP (n=11)	Dias até o empreendedor requerer a Licença de Instalação (n=13)	Dias até o IBAMA emitir a Licença de Instalação (n=12)	Dias até a emissão da Licença de Operação (n=11)
Média ¹⁴ total	394	613	852	876	958	1103	1235	2335
Média etapa	394	220	239	24	82	144	132	1100
I.N IBAMA nº 065/05 ¹⁵	30	Responsabilidade exclusiva empreendedor	270			Responsabilidade exclusiva empreendedor	150	Depende essencialmente do prazo de construção

¹⁴ “Os dados correspondem a processos iniciados antes da Instrução Normativa IBAMA nº 065/05. Tais dados indicam o número total de dias decorridos em cada etapa incluindo prazos para resolução de litígios, para o proponente preparar o EIA/RIMA ou fornecer informações complementares” e ¹⁵ “A comparação com os dados obtidos deve ser feita com cuidado pois a IN nº 065/05 estabelece apenas o número de dias de processamento do IBAMA”.

Figura 23. Períodos das etapas de licenciamento ambiental de projetos energéticos no Brasil.

Fonte: Banco Mundial (2008) e Baitelo (2011).

5.3.4.3 Envolvidos e Interessados

Este atributo deve ser medido com base em trabalhos de campo e da aplicação de questionários junto aos En-In envolvidos nas diversas cadeias do RELO avaliado. Neste sentido e diante da não existência de ampla informação empírica, um exercício teórico e qualitativo é instituído com base em Baitelo (2011), Galvão (2015), no mapeamento dos En-In e nos diversos atributos e subatributos avaliados, bem como na bibliografia sistematizada nos capítulos desta Tese, ver Tabela 35.

Tabela 35. Consolidação dos resultados do atributo Envolvidos e Interessados.

RELO	Grau de Aceitação	Grau de Motivação	Conjunção de Interesses
UTE Uruguaiana s/CCS	Médio	Alto	Média
UTE Uruguaiana c/CCS	Alto	Alto	Média
UTE onshore s/CCS	Baixo	Médio	Média
UTE onshore c/CCS	Médio	Alto	Alta
UTE offshore s/CCS	Alto	Alto	Alta
UTE offshore c/CCS	Alto	Alto	Alta
UTE Mário Covas s/CCS	Médio	Alto	Média
UTE Mário Covas c/CCS	Médio	Alto	Média
UHE Garabi	Médio	Médio	Média
UHE Panambi	Médio	Médio	Média
UHE Guajará-Mirim	Baixo	Médio	Média
UHE Cachuela Esperanza	Baixo	Médio	Média
UHE Inambari	Baixo	Baixo	Baixa

As UTEs Uruguaiana e Mário Covas possuem aceitação média, pois há contradições quanto a operação, incerteza quanto ao fornecimento de combustível (GN), alto custo de geração e emissões de GEE ocasionadas em região adjacentes as UGs.

Porém, é uma opção para a operação do sistema em períodos de escassez hídricas e alta demanda horária, o que pode auxiliar a carga regional e evitar interrupções.

No caso da existência de tecnologia CCS, o custo da operação da UTE aumenta ao mesmo tempo que reduz as emissões de GEE, o que pode aumentar a aceitação deste RELO, por parte da sociedade civil, ademais, caso a regulamentação do mercado de carbono internacional ocorra (UN, 2015; UNFCCC, 2020) pode haver rentabilidade financeira para esta modalidade de sistema.

Concomitante, o PELP brasileiro projeta maior inserção de térmicas na base do sistema, neste sentido a operação firme desses empreendimentos retem alta motivação por parte do planejador e de agentes de mercado envolvidos na comercialização de GN e de energia elétrica, mas baixa motivação por parte de entidades de proteção do meio ambiente, do clima e de incentivo aos REs renováveis, o que resulta numa ponderação de média aceitação quanto a introdução do CCS, resultando num médio grau de interesse.

As UTEs *onshore*, que no caso avaliado localizam-se na costa do Estado de São Paulo, possuem limitadores estaduais, de cunho ambiental, que embargam a implantação deste tipo de RELO na região, além dos motivos discorridos acima, implicando no baixo grau de aceitação.

Quanto ao grau de motivação, além do já descrito, tem o adicional de ser uma opção de uso para GN Pré-sal, disponível em grandes volumes em região próxima aos centros de carga do Brasil e com infraestrutura já estabelecida, o que aumenta a receita das empresas de E&P e arrecadação dos entes da federação, além disso, a utilização de tecnologia CCS pode reduzir externalidades negativas a sua aceitação aumentando a motivação dos En-In. Esses fatores resultam num médio e alto grau de motivação e numa média e alta conjunção de interesses, para as UTE_{on} s/ CCS e c/ CCS, respectivamente.

As UTEs *offshore* apresentam classificação Alta para os três subatributos, pois sua cadeia energética está praticamente contida numa região com infraestrutura consolidada de E&P de petróleo e GN, não encontrando restrições como as UGs em

terra. Além disso, apenas parte da sua LT está em solo, impactando pouco o meio terrestre.

No caso do meio aquático, a LT pode utilizar a região de servidão dos gasodutos e as UGs das plataformas de E&P existentes. Inclusive na modalidade com CCS, o CO₂ capturado pode utilizar a infraestrutura de extração de petróleo e GN para transportá-lo e armazená-lo.

No caso das UHEs binacionais do Rio Uruguai (Garabi e Panambi), os três subtributos são médios, pois há interesse e compartilhamento de ambos os países tanto das externalidades positivas – baixo custo e energia hídrica firme sendo gerada próximos a centro de carga e infraestrutura de transmissão já existente, alto domínio tecnológico, expertise de operação, otimização da cascata da região do Prata e Paraná, compartilhamento de financiamento, de riscos e incertezas por ambos países – quanto das externalidades negativas – longo tempo de expedição de licenças, impacto ambiental resultante do alagamento de reservas naturais, de comunidades nativas e quilombolas e reassentamento de população.

A UHE Guajará-Mirim e *Cachuela Esperanza* apresentam baixo grau de aceitação, pois estão presentes em bacias da região amazônica, que nos últimos anos foram palco de discussões internacionais sobre os impactos de reservatórios nos rios da região (Carpio, 2001; M. Rodrigues, 2012; Fearnside, 2014, 2015a, 2015b; WWF, 2014).

Porém, o grau de motivação e conjunção de interesse são médios, uma vez que há um equilíbrio entre os impactos ambientais, externalidade negativas, e a garantia de energia firme e de baixo custo para o sistema brasileiro e boliviano no LP, com adicional de geração de receita para o Estado Boliviano na forma de impostos e venda dos excedentes de energia, como ocorrem com as UHEs Itaipu e Yaciretá, em que a empresa estatal, representando o Estado paraguaio, vende parte da sua capacidade de geração às empresas dos países sócios dos empreendimento. Intui-se que a construção de tal sistema, se assemelhe as outras UTEs binacionais da região.

Todos os subatributos da UHE Inambari são baixos. Ela apresenta semelhança com as UHEs bolivianas, porém tem o adicional de apresentar grande resistência por parte da sociedade peruana e de agentes de Estado (MINEM, 2007, 2010, 2013).

5.3.5 Dimensão Social - DSOC

5.3.5.1 *Alteração de percepção de conforto*

A valoração do atributo Alteração de Percepção de Conforto considerou apenas o impacto visual da implantação das UTEs em terra, pois as UTE_{off} são implantadas em região distante de áreas habitadas.

Os outros impactos não foram considerados na análise, pois o impacto de temperatura é inexistente em UHE e em UTE a temperatura dos gases de exaustão são reduzidas durante os processos aquecimento de água da ST e de filtragem das emissões, além disso, são condicionadas em lagoas de estabilização.

O impacto no odor também é inexistente nas UGs, salvo haja descontrole biótico nos reservatórios das UHEs ou vazamento de GN ao longo do gasoduto ou na UTE. Por último, o impacto do ruído é perceptível apenas no local da operação, onde os Nível de Pressão Sonora (NPS) podem atingir níveis prejudiciais à saúde humana caso a exposição seja prolongada (Baitelo, 2011) e sem utilização de equipamento de proteção individual (EPI) (Souza, 2021).

Para a valoração do impacto visual (IV_M) utiliza-se Equação (69), em que a é o coeficiente de visibilidade da UG às áreas afetadas, b é o coeficiente de visibilidade da área afetada à UG, PA é a população total da área afetada e PT a população da cidade ou região Baitelo (2011).

$$IV_M = \sum \frac{a \cdot b \cdot PA}{PT} \quad (69)$$

No caso hipotético, considera-se que a e b são idênticos e valem 0,1 para as UTEs Uruguiana e onshore, pois suas implantações estão distantes de áreas residenciais e 0,9 para o UTE Mário Covas, pois está implantada em região urbana.

Os valores de PA e PT são a densidade populacional para uma área afetada de 1,0 km² e a população total da cidade, respectivamente, onde as UTEs são implantadas. As cidades consideradas são Uruguiana, Caraguatatuba e Cuiabá.

Os resultados demonstram que o IV_M varia de 0,01-0,25%, ou seja, esse valor representa a porcentagem da população da cidade afetada visualmente pela implantação da UTE, ver Tabela 36.

Tabela 36. Consolidação dos resultados do atributo Alteração de Conforto.

Impacto Visual		UTE Uruguiana	UTE onshore	UTE Mário Covas
a	-	0,2	0,2	0,9
b	-	0,2	0,2	0,9
População	hab	128.866	121.532	623.614
Densidade	hab/km ²	22,5	250,6	189,4
área afetada	km ²	10	10	10
PA	hab	225	2506	1894
PT	hab	128.866	121.532	623.614
Ivm	%	0,01%	0,08%	0,25%

Fonte: Adaptado de Baitelo (2011) e IBGE (2017).

5.3.5.2 Alteração ambiental no meio social

A *Alteração Ambiental no Meio Social* impacta a saúde humana em decorrência da poluição atmosférica, contaminação do solo, da água e dos alimentos. O impacto da cadeia do GN decorre, principalmente da combustão de combustíveis fósseis (García-Gusano, Iribarren and Dufour, 2018) nas UTEs e pelo vazamento durante o processo de E&P, processamento e transporte, valorados na DAMB.

Porém, o GN é um combustível que não emite particulados e também emite baixos níveis de CO₂ e monóxido de carbono (CO), NO_x e SO_x quando comparado com outros combustíveis fósseis (Shahsavari and Akbari, 2018), reduzindo o seu impacto na saúde humana. Estima-se que o impacto econômico na saúde humana com a utilização de UTE

a GN é de 0,02 USD/kWh, isso representa 5% do valor da utilização de um UTE a carvão mineral (0,45 USD/kWh) (Machol and Rizk, 2013).

Já discorrido no subatributo Qualidade da Água, as UHEs emitem grandes quantidades de GEE, porém são emissões não tóxicas, e seu principal impacto à saúde humana decorre do aumento da concentração de resíduos tóxicos lançados pelos diversos setores da economia no leito dos rios, que se acumulam na área do reservatório.

5.3.5.3 Impacto social decorrente da ocupação espacial

A valoração do atributo *Impacto Social Decorrente da Ocupação Espacial (ISDOE)* considera a área impactada da cadeia energética, determinada na DAMB, a densidade demográfica e a constituição do núcleo familiar das cidades da região de implantação da cadeia energética (IBGE, 2017, 2018; INE, 2018; INEI, 2018), para determinar a quantidade de famílias afetadas pela implantação dos RELOs.

Com base nos custo de assentamento por família de 95 kUSD/fam exemplificado por Soares (2017) obteve-se o custo total de reassentamento para cada RELO avaliado, que varia de 12,4-98,5 MMUSD para as UTEs e de 49,7-410,9 MMUSD para as UHEs, ver Tabela 49 no APÊNDICE G. Essa diferença é esperada, uma vez que as UHEs apresentam extensas área alagadas, que muitas vezes implicam no deslocamento e reassentamento de cidades inteiras.

5.3.5.4 Geração de emprego

A valoração da Geração de Emprego Local considera as características técnicas (CI, t e Eg) e toda a vida da cadeia energética dos RELOs, que contemplam as etapas de estudo, implantação, operação e descomissionamento. A taxa de geração de emprego atribuída ao RELO da fonte hídrica e de GN é de 0,27 e 0,11 postos de trabalho anos por GWh (emp.anos/GWh), respectivamente.

Essas premissas resultam numa Geração de empregos que variam de 21-54 emp/MW, sendo as UTEs menos intensivas em postos de trabalho e a UHE Inambari, com reservatório e maior energia firme entre os RELOs avaliados, mais intensiva em postos de trabalho. Além disso, em relação a *Qualidade de Trabalho* são identificados o

grau de qualificação dos empregos, custo de acidente e mortes por acidente para as UTEs e UHE. Os resultados da identificação e valoração dos subtributo estão parcialmente sistematizados na Tabela 50 do APÊNDICE G.

No caso do grau de qualificação, as etapas de estudos exigem a maior qualificação, 50% dos empregos são de mão de obra com ensino superior, ou seja, maior faixa salarial, porém esses empregos, geralmente são gerados fora da geografia de implantação da cadeia energética. A etapa de implantação é a mais intensiva em mão-de-obra, estima-se que 80% da geração de empregos ocorre nessa etapa, das quais 20% exigem capacitação para desempenho de cargos de engenharia e gerência (Baitelo, 2011). Na etapa de O&M, exige-se 1,6 emp/MW e na descomissionamento varia de 2,4-8,1 emp/MW.

5.3.5.5 *Influência no desenvolvimento local*

A implantação de uma cadeia energética e a sua *Influência no Desenvolvimento Local*, não é algo uniforme e possui características singulares dependendo do tipo de fonte energética, tecnologia utilizada, escala implantada e geografia. Essa característica é evidente, em pequena escala, quando da implantação de eletrificação em locais remotos que resultam em aumento da renda no LP, devido a introdução de equipamentos elétricos que permitem o aumento da produtividade da produção e do comércio local, e pela alfabetização de adultos, que passam a ter acesso a iluminação, criando a oportunidade de estudo em período noturno, fora do horário de trabalho (González-Eguino, 2015; Figueirêdo Neto and Rossi, 2019; Martinez-Bolaños *et al.*, 2021).

No caso dos RELOs de escala, o seu impacto pode transcender o local da sua operação, incorrendo no desenvolvimento de toda uma cadeia de produção de equipamentos e serviços e, inclusive produzir excedentes de renda que permitam o desenho e implantação de políticas públicas direcionadas a outras áreas. Além disso, quanto maior o projeto e a mobilização de recursos para a sua implantação e menor a economia do município impactado, maiores serão os benefícios econômicos (Furtado *et al.*, 2011; Ramos *et al.*, 2020).

Essa característica pode ser exemplificada pela análise dos índices de desenvolvimento humano como IDH, escolaridade, taxa de mortalidade infantil, salário médio mensal dos trabalhadores formais e receitas oriundas de fontes externas nas cidades que possuem grandes UG em relação aos índices das cidades adjacentes.

A cidade de Ilha Solteira, sede da UHE de mesmo nome, esses índices são: IDH de 0,812, escolaridade de 99,3%, 11,76 óbitos por mil nascidos vivos, 3,1 salários médio mensal por trabalhador formal e 74,8% das receitas oriundas de fontes externas, enquanto que em outras cidades da região, como Castilho, os mesmos índices são 0,76, 99,1%, 15,56, 2,6 e 89,1% e Pereira Barreto 0,766, 98,1%, 15,69, 2,5 e 83,4%, respectivamente (IBGE, 2017, 2018). Isso demonstra que grandes empreendimentos aumentam o IDH, educação, o número de salários, diminui a mortalidade infantil e aumenta a receita gerada localmente.

Mas nem tudo é brio. Pois durante a construção, grandes contingentes humanos são deslocados para a região, ocasionando pressão de CP sobre os indicadores sociais de saúde, educação e segurança (Furtado *et al.*, 2011) como aumento da criminalidade, trabalho informal, prostituição, inflação de moradia, desigualdade de renda e deplecionamento dos recursos locais (Soares, 2009; Moran *et al.*, 2018). Ao final da construção ocorre uma diáspora desses trabalhadores temporários, com equalização nos anos de operação da UG. Porém, esses efeitos adversos persistem na característica social dos moradores da região (Reis and Souza, 2016).

Portanto, a etapa de implantação da cadeia energética nas diversas regiões do seu traçado, principalmente no local de O&M da UG, geram uma influência no desenvolvimento local agudo e crônico, ou seja, tem influência de LP, diferentemente das etapas pré-operacionais – estudo, projeto e construção -, em que os dois primeiros geram empregos e renda temporários, não necessariamente no local de implantação da cadeia energética, e o terceiro, mesmo sendo o mais intensivo em geração de empregos, possui um pico entre o segundo e o terceiro ano de implantação até se exaurir no seu término, persistindo no local apenas os empregos operacionais de O&M e serviços especializados para a UG (Ravillard *et al.*, 2021), que também são menos intensivos, porém são de LP.

Neste sentido a valoração do *Influência no Desenvolvimento Local* considera a vida útil da UG, o número de empregos gerados na etapa de O&M, grau de qualificação exigido de 20% nível superior com média salarial⁸⁰ de USD 1.086 e 80% nível técnico e ensino médio com média salarial de USD 465 (Baitelo, 2011), taxa 1,3 empregos indiretos gerados para cada emprego direto (ABRAGEL, 2021) com média salarial igual ao do nível técnico e ensino médio. Além disso, é considerado a compensação financeira para o município⁸¹.

A partir dessas premissas é determinado a massa salarial de geração de empregos diretos e indiretos e a arrecadação municipal decorrente da geração da UG. No caso de UG binacionais, o valor total de arrecadação e da massa salarial é dividido 50% para cada Estado sócio.

Em termos de geração de empregos, as UTEs apresentam índices menores (198-430) que as UHEs (370-1.120). Em termos de massa salarial, os empregos de baixa qualificação apresentam rendimentos superiores à média de renda per capita da população local, com valor total anual da massa salarial variando entre 1,6-7,49 MMUSD/ano.

Em termos de arrecadação, as cidades retêm entre 3,78-16,83 MMUSD/ano, sendo a cidade de implantação da UHE com a maior arrecadação individual, 14,97 MMUSD/ano. No caso da UHE Guajará-Mirim, o valor de compensação municipal, 16,83 MMUSD/ano, é dividido entre as cidades do lado brasileiro e peruano, ver Tabela 51 no APÊNDICE G.

Quando os valores dos salários individuais de alta e baixa qualificação são comparados com o PIB per capita dos países, verifica-se que todos os salários de alta qualificação são superiores em pelo menos duas vezes o PIB per capita. No caso dos salários de baixa qualificação, ele é 92% maior do que o PIB per capita na Bolívia, 99% no Peru, e 89% no Brasil. Porém, principalmente no caso das UHEs, por estarem em regiões do interior do país, ou seja, longe dos centros econômicos e em cidades com

⁸⁰ A média salarial é extraída de Baitelo (2011) para o ano de referência de 2008, esse valor é corrigido pela inflação IPCA (Brasil) do período de janeiro de 2008 à janeiro de 2021 e convertido para dólar a uma taxa de 0,19 USD/R\$ (BCB, 2021).

⁸¹ Valor pago pela energia gerada pela UG = $Eg \times Tarifa \text{ Atualizada de referência } (72,20 \text{ R\$/MWh}) \times 7\%$ (percentual estabelecido por lei (Soares, 2017)

baixo índice de empregos formais, esses salários tendem a serem superiores aos valores médios da região.

5.4 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO - DPC-IET

Utilizando a metodologia desenvolvida por RIGOLIN (2013). Os treze recursos energéticos avaliados no Estudo de Caso são ranqueados e sistematizados. À ressalva é que os pesos inferidos aos atribuídos e subatributos são isonômicos, ou seja, os atributos Emissões de GEE e Captação e Consumo de Recursos Hídricos possuem o mesmo peso dentro na DAMB, assim como os atributos Disponibilidade de RE e Apoio Político possuem o mesmo peso na DPOL. Além disso, a avaliação utiliza duas abordagens: a primeira considera os custos vinculados à emissão de GEE incorridos pelos reservatórios das UHEs; e a segunda não.

Como demonstrado no Capítulo 5.3.2.5, as emissões de CH₄ ocasionadas pela ampliação da área alagada do leito do rio para a formação do reservatório da UHE são intensas ao longo da sua vida útil. Caso seja considerado os mecanismos de compensação de emissões, via tarifação do CO_{2e}, o LCOE – atributo Custo de Geração – das UHEs aumenta entre 398-1.275 USD/MWh. Essa consideração, caso seja o único atributo avaliado, inviabiliza à implantação de um RE. Porém, se o objetivo de desenvolvimento do setor elétrico de um país for o desenvolvimento sustentável, a avaliação de todos os potenciais impactos, positivos e negativos, devem ser determinados e computados para performarem a paisagem real da aplicação de um determinado RE.

Posto essa condição, a partir da avaliação da Tabela 34 fica visível que os melhores e piores RE ranqueados variam conforme a dimensão de análise. No APÊNDICE H é possível analisar todos os atributos e subatributos valorados. Em relação a DAMB, todas às UHE apresentam índice maiores que os medidos para às UTE. O melhor ranqueamento é da UHE Panambi. Esse desempenho se deve aos melhores índices do atributo Poluição Atmosférica e Captação e Consumo de Recursos Hídricos, que acabam compensando o baixo índice do atributo Emissão de GEE. Quando

analisados os REs vinculados as UTEs, verifica-se que as UGs com sistema CCS apresentam DAMB menor que os sistemas sem CCS. Essa característica se dá pelo aumento do Consumo e Captação de Recursos Hídricos, sendo incapaz de compensar a redução das emissões de GEE.

Tabela 37. Ranqueamento dos REs avaliados.

RE	DAMB	DPOL	DSOC	DTEC s/	DTEC c/	DPC-IET s/	DPC-IET c/
UTE Uru s/ CCS	0,631	0,407	0,405	0,473	0,636	0,479	0,520
UTE Uru c/ CCS	0,572	0,462	0,405	0,440	0,619	0,470	0,515
UTE on s/ CCS	0,555	0,556	0,360	0,638	0,652	0,527	0,531
UTE on c/ CCS	0,498	0,722	0,360	0,573	0,603	0,538	0,546
UTE off s/ CCS	0,555	0,778	0,472	0,345	0,468	0,537	0,568
UTE off c/ CCS	0,498	0,778	0,472	0,267	0,405	0,504	0,538
UTE Mario Covas s/ CCS	0,666	0,396	0,176	0,464	0,645	0,425	0,471
UTE Mario Covas c/ CCS	0,600	0,396	0,176	0,434	0,630	0,402	0,450
UHE Garabi	0,730	0,315	0,487	0,491	0,495	0,506	0,507
UHE Panambi	0,820	0,315	0,567	0,455	0,476	0,540	0,545
UHE Guajará-mirim	0,714	0,212	0,998	0,709	0,575	0,658	0,624
UHE Cachuela Esperanza	0,670	0,231	0,638	0,488	0,503	0,507	0,511
UHE Inambari	0,709	0,111	0,861	0,767	0,591	0,612	0,568

*Escala de cores (vermelho, laranja, amarelo e verde) das dimensões: células marcadas em vermelho apresentam o menor índice; e às células marcadas em verde o maior índice.

Por outro lado, na DPOL às UTE apresentam os melhores índices, pois possuem os melhores desempenhos nos atributos Apoio Político e Envolvidos e Interessados. Essa característica se dá: pela indústria de O&G possuir empresas de variadas naturezas (pública, privada, EEM e estrangeira) atuando localmente; possuir uma rede de serviços e insumos estabelecidos na região; e é o RELO com maior número de projetos transnacionais implantados, operando perenemente na região.

No caso das UHEs, há exemplos concretos de projetos de IET implantados, porém são de cunho binacional de empresas estatais, e às LTT são menos frequentes do que os gasodutos transnacionais, além de operam de forma intermitente. Portanto, essas características reduzem os índices dos atributos da DPOL vinculados às UHE e aumentam os vinculados às UTE.

Na DSOC, todas as UHEs apresentam os melhores índices. Essa condição resulta principalmente pelos índices dos atributos Geração de empregos e Influência no Desenvolvimento Local das UHEs serem substancialmente superiores aos índices da

UTE. Tais valores refletem que a implantação de uma UHE num determinado local tem um potencial de geração de empregos e de influir no desenvolvimento regional ao longo da sua vida útil, muito mais que as UTEs.

Quando avaliado as duas abordagens da DTEC, verifica-se que o impacto do atributo Emissão de GEE tem efeito preponderante nessa dimensão. No caso da primeira abordagem (não consideração dos custos de emissões), a UHE Inambari apresenta o melhor índice global da DTEC e todas as UHEs apresentam os melhores índices para o Custo da Geração. Na segunda abordagem esse efeito é inverso, ou seja, as UTEs apresentam os melhores índices para o atributo Custo da Geração e a UTE *on* sem tecnologia de CCS apresenta o melhor índice global da DTEC. Esses resultados iluminam a importância de se considerar e avaliar as políticas públicas de regulamentação do mercado de crédito de carbono.

Em relação aos atributos que não variam com a inserção dos custos de emissões: (i) o atributo Potencial Energético é maior nas UHEs, pois a CI e o FC dessas UGs são superiores aos das UTEs; (ii) o atributo Facilidade Técnica, excluindo-se à UTE_{off}, é superior nas UTEs devido ao tempo de implantação dessas UGs serem inferiores aos das UHEs, e, pela distância entre à UG ao centro de carga serem inferiores, uma vez que à área de implantação das UTEs, excluindo-se a UTE *off*, estarem próximos ou inseridos nos centros de carga; (iii) o atributo Confiabilidade apresenta índice baixo a médio para todos os REs, exceto para a UHE Inambari, pois os subatributos Disponibilidade e Intermitência, que conformam o atributo Confiabilidade, são superiores aos dos demais RE avaliados; e (iv) o atributo domínio tecnológico apresenta índice máximo 1,000 para todos às UHE, pois é um tipo de RE dominado tecnicamente na região avaliada.

Em termos globais, em geral às UHE apresentam os melhores índices de DPC-IET nas duas abordagens, sendo a UHE Guajará-Mirim a que apresenta os melhores índices, variando de 0,658-0,624, para os casos sem e com consideração dos custos de emissão de GEE, respectivamente. Por sua vez, os piores índices ocorrem nas UTEs, com destaque para à UTE Mario Covas, que apresenta os menores índices, 0,402-0,450, em ambas as abordagens, sendo a UG com tecnologia de CCS a mais mal ranqueada.

6 CONCLUSÃO

6.1 O VAI E VEM DA INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA TRANSNACIONAL É RESULTADO DA FALTA DE PLANEJAMENTO?

Uma característica marcante demonstrada no levantamento dos potenciais energéticos da geografia analisada é que embora eles sejam abundantes, em termos de variedade e escala, eles estão assimetricamente distribuídos na geografia dos países da região. Isso implica na necessidade de um comércio multinacional estável, à vista da oferta, para que os países deficitários acessem de forma previsível os REs dos países superavitários. Para tal, exige-se a viabilização de modais internacionais e, em alguns casos, utilizando infraestruturas de rede que transponham fronteiras para a manutenção de uma logística permanente de fornecimento de insumos, equipe laboral e *commodities*.

Porém, a viabilização de uma infraestrutura de IET apresenta entraves heterogêneos, cujo principais são de cunho político – soberania nacional; relações bilaterais ou multilaterais líquidas; e divergência de interesses entre as elites econômicas nacionais e os En-In –, socioambientais – alteração do meio; mudanças do uso do solo; e deslocamento populacional – e econômicos – acesso ao crédito e mercado consumidor estabelecido.

Por outro lado, assim como os entraves, os benefícios da IET também são heterogêneos, principalmente para os países em desenvolvimento como: o acesso ao crédito internacional com baixa taxa de juros; o estabelecimento de relações diplomáticas e de instituições multilaterais; a implantação de infraestrutura de escala; e a formação de equipe técnica e de cadeia de suprimento local, permanente e de LP. Mais do que isso, uma vez viabilizada a infraestrutura, mesmo que nos curto e MP ela esteja vinculada a um contrato específico, no LP é possível diversificar o serviço, ampliar o acesso a terceiros e internalizar a oferta para atender a demanda interna com o ativo já amortizado.

Intrínseco ao estabelecimento dessa infraestrutura, está a exigência de: um marco regulatório ou de segurança jurídica que deem a percepção de previsibilidade para o

tomador de decisão e para o investidor de LP; normalização de procedimentos institucionais que diminuam as divergências entre os agentes de Estado, mercado e sociedade civil; institucionalização de mecanismo de arbitragem independente e transparente; e a construção e gestão de ampla base de dados desagregados e confiáveis, que permitam um planejamento de LP. Tais ações permitem o estabelecimento de um *forward guidance* em nível regional, comum em países com economias desenvolvidas.

Nos países em desenvolvimento, mesmo os principais emergentes⁸², não possuem o instrumento de *forward guidance*, ou seja, não conseguem comunicar o estado da economia e o provável futuro da política monetária – orientação da trajetória esperada de juros -, uma vez que as suas mudanças estruturais são abruptas e sua macroeconomia são mais voláteis que a dos países desenvolvidos (Loayza *et al.*, 2007).

Não ter esse instrumento impacta diretamente as decisões financeiras da sociedade (famílias, investidores, empresas) e, por sua vez o PELP, pois exige que as tendências de demanda sejam feitas de forma condicional e com simplificações, o que limita a capacidade de previsibilidade futura. Não à toa, as taxas de interesse nesses países são maiores que em países desenvolvidos (IEA and NEA, 2020).

No recorte sul-americano dos últimos 60 anos, a linha do tempo pode ser dividida em três períodos e que decorrem principalmente da conjuntura política – alterações de regimes políticos que oscilaram de ditaduras militares para democracias liberais – e econômica – aumento e diminuição de acesso ao crédito internacional e endividamento público (Arida and Lara-Resende, 1985).

Essas alterações refletiram em ondas de suspensões e avanços na estruturação dos empreendimentos; alteração do tipo de empresas a frente dos projetos, que deixam de ser exclusivamente estatais e passam a ser de capital privado e misto, reverberando inclusive no tipo de empreendimento e RE explorado: (i) o primeiro período é marcado pela implantação de UHE binacionais e suas respectivas LTTs; (ii) o segundo período é focado no setor de hidrocarbonetos, onde ocorrem a implantação de gasodutos e UTEs;

⁸² Os principais são os países do BRICS - Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul.

e (iii) o terceiro há uma diversificação de projetos de IET, principalmente voltados a implantação de LTTs e ampliação de infraestrutura de existente.

O último período está encerrado e a região está latente quanto a implantação de novos projetos e de viabilização de instituição supranacional de caráter regional, o qual diversos organismos de cooperação regional foram cunhados. Organismos como IIRSA-COSIPLAN e UNASUL desempenharam papel importante no seu tempo, desenvolvendo fóruns de debate, acordos e tratados políticos, econômicos e sociais como forma de integração da região e, com o andar da carruagem, algumas foram descontinuadas ou fagocitadas por outros organismos.

A maior instituição supranacional instaurada na AS, a UNASUL, conseguiu atuar, por meio de trabalhos técnicos em conjunto com agentes dos 12 países membros, na montagem de uma carteira detalhada de 579 projetos de integração para a região. Suscitando aos membros, uma plataforma estruturada com dados técnicos em uma linguagem comum.

Se por um lado a natureza técnica da instituição pode criar essas facilidades por outro ela não pode dar sequência na implantação dos projetos estruturados devido à falta de suporte financeiro num primeiro momento, mesmo tendo acesso aos recursos dos quatro principais bancos de fomento da região – BID, BM, BNDES e CAF – e num segundo momento devido a descontinuidade política e programática da instituição.

Quanto as características dos empreendimentos de IET implantados, a principal é a bilateralidade. Não há empreendimento de IET que abarque mais de dois países. Demonstrando que a IET-AS não é um fim, mas um meio de atender às necessidades energéticas e econômicas pontuais de determinado país em determinado momento histórico. Não por acaso que alguns empreendimentos de IET estão ociosos ou operam em caráter emergencial e sazonal.

Do ponto de vista técnico, as interconexões transfronteiriças requerem uma infraestrutura com metas bilaterais ou múltiplas e que incluam a participação dos En-In. Para que o processo de integração seja feito de forma coesa, é essencial que sejam

realizados estudos que propiciem um planejamento adequado para a geração, transmissão e distribuição de energia, bem como os interesses e retornos econômicos para os diversos agentes envolvidos.

Obviamente, quanto maior o número de En-In, maior a dificuldade em estabelecer políticas públicas. Porém, uma vez estabelecidas, elas podem apresentar uma característica homogênea e focalizada, quanto ao atendimento dos diferentes interesses. É por isso que os experimentos bem-sucedidos na região são decorrentes de projetos binacionais, com forte participação de Estados nacionais e ausência de estado democrático de direito, ou seja, as decisões tomadas são *top-down*, sem apreciação e discussão por parte da sociedade civil.

Portanto, no contexto apresentado, a IET-AS pode-se dar por dois caminhos: (i) aproveitamentos binacionais, fronteiriços, com comercialização para os usuários finais bem definidas; ou (ii) por conexão entre os sistemas elétricos e de gasodutos de transporte endógenos dos países, com consequente necessidade de coordenação operativa, harmonização regulatória, normas técnicas comuns e mecanismos de solução de controvérsias. Ambos os casos, há conteúdo evidente, diferindo na forma e estilo.

A partir da fotografia da região – exposta nessa tese - é possível afirmar que há grupos de interesses nacionais⁸³ – dos países da AS -, principalmente formados pelas elites econômicas dos setores de produção tradicionais, que se opõem às facilidades, aos ganhos de escala e de eficiência que uma IET, ampla e perene, pode fornecer, como:

- Complementariedade energética regional e interanual, principalmente de fontes renováveis, que pode aumentar a segurança do abastecimento dos países que se integram, ampliar a receita do país exportador e estreitar as relações bilaterais e institucionais entre estados e En-In. Ao mesmo tempo que pode diminuir o acionamento ou até mesmo desmobilizar as UGs mais emissoras e com menor DPC-IET; e

⁸³ Esses grupos atuam para manter um protecionismo nacional sem planejamento de longo prazo, por meio da desestruturação de organismos multilaterais e restrições à entrada de agentes externos, criando reserva de mercado, que encarece o custo nacional e reprime o acesso da sociedade a produtos e serviços de menor preço e qualidade.

- Compatibilização de regulações, marcos jurídicos e possibilidade de criação de processo de arbitragem comum, o que pode reduzir à segurança jurídica e diminuir o risco dos agentes que implantam e operam infraestrutura de integração transfronteiriça e ampliar o acesso aos REs, equipamentos, serviços e mercados consumidores (demanda energética) dos países da região.

Concluindo que a baixa IET existente na AS decorre da falta: de um planejamento de Estado de longo prazo e vinculado a instituições consolidadas e aos interesses das elites econômicas dos países da região; e de coordenação regional perene, com sinalização de estabilidade econômica e jurídica amalgamados em marcos jurídicos comuns - *scripta manent*. Fatores alicerçadores para projetos de cunho transnacional e com exigência de grandes montantes de investimentos e de décadas para amortização e qualquer tentativa constituída fora do arcabouço institucional e jurídico é *verba volant*⁸⁴ Além disso, como forma de atuação efetiva dos Estados-nacionais, é preciso focar em vetores de interesse transversal dos países da região, como são os casos das matrizes energéticas, da inovação tecnológica, das populações originárias e da governança ambiental - preservação ambiental e mudanças climáticas.

6.2 A BUSCA DE MODELOS E FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO PARA À INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA TRANSNACIONAL

Como resultado das duas etapas metodológicas de revisão bibliográfica é possível tentar responder as duas provocações norteadoras: (i) Qual a amplitude?; e (ii) Qual a profundidade dos resultados encontrados nas análises da literatura especializada?

A primeira pergunta pode ser respondida com base nos resultados da RB, que demonstram que há um amplo número de registros publicados em periódicos internacionais explorando o PE em países em desenvolvimento, sendo muitos destes, países da AS como Brasil, Colômbia, Chile e Equador.

⁸⁴ *Verba volant, scripta manent* é um provérbio em latim que significa: “Palavras faladas voam para longe, palavras escritas permanem”.

A partir de 2009 há uma intensificação do número anual de publicações, demonstrando uma tendência de crescimento da temática, que em geral são realizadas por universidades públicas e utilizando financiamento de fundos públicos de pesquisa. Esse financiamento na AS é 100% público e as pesquisas são majoritariamente realizadas em institutos ou universidades públicas, com vínculo entre si ou com instituições externas, principalmente europeias.

Outra característica é que as publicações são feitas principalmente por países com características de serem grande exportadores ou importadores de energia. Talvez, a necessidade de expandir as exportações para novos mercados ou para diversificar as fontes e o provedores de importação, expliquem essa tendência. O mesmo é verificado em relação as outras regiões, sendo China, EUA e Canadá grandes exemplos de país intensamente exportadores, os dois primeiros, e exportadores, os dois últimos.

No total são 438 autores, em média quatro por publicação, de 45 países (principalmente da Europa e Ásia) alocados em 234 instituições diferentes. Esses números demonstram que a temática é amplamente explorada em todo o mundo, por meio de uma rede de pesquisadores, fato confirmado com a existência de 112 vínculos.

A segunda pergunta é respondida com base nos resultados da RS, onde a análise sistemática demonstrou que há mais de duas dezenas de Mod-Fer de PELP⁸⁵ utilizados para a elaboração de cenários de previsão da oferta e demanda de energia com possibilidade de análise no CP, MP e LP que utilizam principalmente a abordagem analítica do tipo do tipo *bottom-up*.

Essa característica exige: (i) uma descrição detalhada das tecnologias e dos setores analisados, implicando na necessidade de uma ampla base de dados confiáveis, sendo muitas vezes um limitante para países em desenvolvimento; e (ii) não são indicados para países que apresentam acelerado crescimento econômico, pois pode haver descontinuidades nas tendências derivadas dos históricos de dados, ou seja, não fornecem confiabilidade as simulações de LP (Van Beeck, 1999).

⁸⁵ Dentro do escopo de triagem pré-definido

Essas duas características são resultado da região a qual tais Mod-Fer foram desenvolvidos. Pois todas instituições e desenvolvedores estão alocados em países desenvolvidos (Debnath and Mourshed, 2018b), que possuem: histórico de dados amplos e confiáveis; crescimento econômico e energético estáveis ao longo dos anos; curva de carga previsível ao longo dos dias e meses do ano (Relva *et al.*, 2021); e cujo objetivo principal do PE é reduzir as emissões de GEE – transição energética de baixo carbono (Peyerl, 2021) – e aumentar a segurança energética do abastecimento (Oliveira da Silva *et al.*, 2021).

Por outro lado, o PE dos países em desenvolvimento, em sua maioria, é aumentar o acesso às formas convencionais de energia, por meio da expansão da infraestrutura, um pré-requisito para o desenvolvimento econômico e social. Tais características, permitem concluir que a falta de consideração das particularidades socioeconômicas exclusivas dos países em desenvolvimento, como demanda reprimida, corrupção e instabilidade política nas entradas dos Mod-Fer pode potencialmente subestimar a demanda total, tornando o PELP impreciso e ineficaz.

Quanto aos tipos de entradas, elas são principalmente quantitativas e abordam atributos da DTEC e em alguns casos atributos do meio aéreo (emissões de GEE e poluentes atmosféricos) da DAMB. Tanto a DSOC quanto a participação de EN-IN são relegadas, salvo 03 Mod-Fer híbridos que utilizam ferramentas de apoio do tipo MCDM para inserção de dados qualitativos na modelagem. Mesmo nesses casos, a consideração de atributos da DSOC é limitada – ao número de empregos criados; e ao impacto na saúde da população devido a entrada ou saída de algum tipo de RE – e os EN-IN – a pequenos grupos de interesses formados por especialistas, agentes de mercado e da academia, sem a participação de envolvidos e da sociedade civil. No caso da DPOC, não foi encontrado nenhuma referência de uso ou consideração.

Uma constatação primordial nesta RS é a forma como os Mod-Fer consideram a IET. Ela é exclusivamente inserida como importação e/ou exportação de energia, por meio de atributos da dimensão técnica-econômica, e as suas emissões são consideradas apenas na geografia do gerador ou consumidor final, ou seja, os impactos são exclusivos

do importador, não considerando a cadeia de extração, produção e transporte. Além disso, nenhum tipo de atributo das DSOC e DPOL são considerados, mais que isso, as relações de contrato transnacionais de LP, da infraestrutura transfronteiriça, da geopolítica e diplomacia são relegadas na análise.

Como demonstrado nos Capítulos 1, 2 e 3, esses elementos são as bases para um PELP que considere a IET como elemento de fornecimento de RE no LP de forma perene e estável, tanto do ponto de vista do acesso aos REs e à infraestrutura, quanto à estabilidade contratual e institucional das relações transnacionais. A consideração ou não dessas dimensões podem resultar num PELP subjetivo e inexecutável.

Portanto, as duas etapas de revisão demonstraram que em relação a amplitude dos resultados há uma ampla rede de instituições e pesquisadores distribuídos em diversos países desenvolvendo Mod-Fer de PELP, porém essas ferramentas são fundamentalmente desenvolvidas para a aplicação em países, cuja base de dados é ampla e confiável, o crescimento socioeconômico é baixo ou moderado e com tendências de demanda interanual estáveis, ou seja, característica dos países desenvolvidos. Quanto à profundidade, os resultados permitem verificar a existência de gargalos para a aplicação desses Mod-Fer no PELP, quando se considera à IET, já que os atributos da DSOC e DPOC são ignorados, o que pode comprometer a confiabilidade e a segurança do sistema energético planejado dado as possibilidades de restrições técnicas, econômicas, contratuais e ambientais advindas da utilização de RE dessa IET.

Além disso, dados incongruentes podem resultar em desvios de previsão aumentando a incerteza dos cenários de MP e LP (Relva, 2022). Por isso a necessidade de Mod-Fer flexíveis – que considerem uma quantidade aceitável de históricos de dados incompletos – e modulares – para a inserção dos diferentes tipos de dimensões, EN-IN, dados qualitativos e quantitativos.

6.3 DO GARGALO AO MODELO DE DPC-IET

A constatação apresentada no Capítulos 3 e concluída no Capítulo 6.2 de que inexistem um modelo ou ferramenta de PELP que considere à amplitude de atributos

necessários para a avaliação da internalização de RE transnacionais no LP. Demonstra que há um gargalo tecnológico para a elaboração de tais avaliações.

Dentre os motivos encontrados estão: a geografia de desenvolvimento dos Mod-Fer – países desenvolvidos com economias e políticas institucionais estabelecidas -; serem do tipo bottom-up – exigem ampla série de dados desagregados -, inflexíveis quanto ao tipo de dado e RE; e não consideraram as dimensões DSOC e DPOL, primordiais para uma avaliação em nível transnacional e de LP.

Essa contação permitiu o desenho de um modelo modular utilizando como base o PIR desenvolvido na Universidade de São Paulo (USP). A construção dos atributos e subatributos e suas respectivas avaliações visando uma estratégia de IET-AS não é trivial. Há uma necessidade intensa de bases de dados e informações em nível micro e macro de cada região analisada, seja ela nacional ou local, para posterior normalização, sistematização e avaliação. Uma vez que não há uma base de dados regionais consolidados para a AS, é necessário realizar estimativas, que podem se traduzir em equívocos quanto a realidade da geografia avaliada.

A curadoria dos dados exigiu extensa pesquisa em banco de dados de agências de Estado, em nível local e nacional, agências e instituições internacionais, de cunho público e privado, e organizações sem fins lucrativos. A observação é que há agências supranacionais desenvolvendo e unificando base de dados em nível nacional dos países da AS, como OLADE, BID e BM, e algumas delas disponibilizando ferramenta de georreferenciamento, e.g. o CIER. Porém, há séries históricas com poucas décadas, mesmo de indicadores econômicos amplamente utilizados como PIB e inflação, e algumas com menos de duas décadas, como índices sobre emprego, tipos de fontes energéticas e dados ambientais.

Partindo dessa premissa. A construção da base de dados para a execução dos módulos do modelo DPC-IET exigiu a aplicação de projeção, normalização e extrapolação dos dados coletados. Foi necessário incluir dados provenientes de entidades de classe (e.g. ARPEL, federações patronais e CIER), agências de monitoramento independente e instituições acadêmicas, ou seja, são dados formados

fora do bojo dos Estado e sem transparência quanto a obtenção e metodologia de manipulação dos dados.

Quanto ao modelo desenvolvido na tese, devido a sua característica modular foi possível manipular as etapas em paralelo, com retroalimentação conforme novos dados e resultados eram encontrados ou descartados, permitindo uma avaliação holística das suas entradas e saídas.

O módulo de listagem e peneiramento tem duas características principais em relação a inclusão e exclusão de RE: (i) as tecnológicas vinculadas à cadeia do RE, com ênfase nas tecnologias de conversão, transporte e transmissão de energia e de controle e mitigação de impacto nos meios – aéreo, aquático, terrestre e antrópico – esta última cunhada por RELVA (2022) como tecnologia ambiental -; e (ii) as geográficas – que incidem no peneiramento demovendo os REs conforme as suas vocações e limitações naturais, legais e técnicas.

O mapeamento dos En-In é um processo exaustivo e que exige trabalho de campo para o levantamento e acesso de entidades da sociedade civil organizadas em núcleos locais, de forma distribuída e sem amparo legal. É primordial a participação desses grupos, que em geral são os afetados diretamente pela inserção de RE na geografia. No estudo de caso, o mapeamento se concentrou nas entidades de nível nacional e supranacional.

Na elaboração dessa etapa foi perceptível as diferenças de desenvolvimento institucional e ferramental a que os diferentes países da AS dispunham. Os países mais desenvolvidos da região, em termos de IDH e renda, possuem: maiores tipos e amplitudes de histórico de dados; instituições de Estado vinculados ao PE; publicação e disponibilização de documentação técnica e ferramentas de georreferenciamento da infraestrutura existente e planejada; e evidente diretriz e sinalização de PELP nacional. Enquanto os países menos desenvolvidos carecem de organismos institucionais de PE e de documentação que demonstre as diretrizes e planos de desenvolvimento do setor energético.

O módulo de DPC-IET é amplo, pois avalia o RE nas quatro dimensões de um PELP fundamentado no desenvolvimento sustentável, e profundo, pois determina e traduz para termos padrões e primordialmente quantitativos as externalidades – positivas e negativas, diretas e indiretas – dos RE no nível micro da geografia de implantação e macro da geografia impactada ao longo da vida útil de toda a cadeia do RE.

A modularidade e flexibilidade de cada dimensão da DPC-IET é positiva, pois permite a retroalimentação de dados e variáveis determinadas nos diferentes atributos e subatributos das suas dimensões. Além disso, essas características permitem a adaptação do método de cálculo dos atributos e subatributos conforme evoluem às ferramentas de apoio; surjam novas séries de dados; alterem as metodologias de inferência estabelecidas (e.g., determinação de emissões, GWP, índices de desenvolvimento). Porém, é pétreo por regra metodológica que nenhum atributo e subatributo pode ser removido e que uma vez estabelecida uma linha procedimental ou método de cálculo para eles, todos os REs devem ser avaliados da mesma forma para não incorrer em descaracterização da teoria implícita, inserção de subjetividade e permitir uma avaliação isonômica entre eles. Essas premissas são necessárias para fornecer uma estratégia completa para a inserção de REs de IET no PELP de um país.

Quanto aos REs avaliados, a consideração de determinados índices e tecnologias podem aumentar ou diminuir o seu potencial completo. Como no caso da inserção de tecnologias de CC e CCS nas UTEs - que aumenta a capacidade instalada e ao mesmo tempo diminui as emissões de GEE e poluentes atmosféricos, respectivamente - e da consideração ou não das emissões de metano dos reservatórios das UHEs, que uma vez considerados, aumentam exponencialmente o impacto ambiental gerado por essas UGs.

Em relação a apresentação da avaliação dos resultados da DPC-IET na forma de índices ranqueados facilita a avaliação individual e holística dos REs avaliados. Sendo possível ponderar os diferentes atributos e subatributos, além de facilitar a visualização do desempenho e impacto de cada RE dentro das diferentes dimensões de análise.

6.4 CONSOLIDAÇÃO DE CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os destaques, quanto as principais conclusões e sugestões da tese, são:

- As relações bilaterais e multilaterais na AS são líquidas, isso exige o estabelecimento de instituições de Estado de cunho multinacional sólido, perene e com respaldo dos Estados-membros;
- Há evidente demonstração de interesses transversais dos países da AS, principalmente relacionados as questões de comércio, infraestrutura, energia, telecomunicações e meio ambiente. O Brasil possui fronteira com quase todos os países da região e, nesse sentido atuar com isolamento não traz vantagem para a região e nem para o país. Portanto, exercer um papel de indutor é importante para ocupar espaço regional, pois o Brasil não é local onde as discussões são encerradas, mas é o local onde as discussões devem ser iniciadas para se levar direcionamentos e estimular conclusões e ações em âmbito regional;
- A região da AS tem exemplos de IET bem-sucedidas e malsucedidas, quanto à perenidade do fornecimento de energia. Porém, mesmo as malsucedidas permitem uma operação flexível entre os países, aumentando a segurança do abastecimento de algumas regiões em períodos de escassez energética. Portanto, é necessário implantar uma estrutura de rede de energia transnacional - *Electricity Energy Exchange (eee)*⁸⁶ - para desempenhar o papel semelhante das redes de fibra ótica - permitem transmissão de dados e o estabelecimento da *World Wide Web (www)* -, de modo a criar uma estrutura robusta de transporte de elétrons e moléculas de GN na região e, possivelmente, permitir expansão e complementariedade das fontes renováveis endêmicas, aumento da segurança do abastecimento e auxílio à descarbonização do setor energético;

⁸⁶ Termo apresentado pelo Professor Dr. José Sidnei Colombo Martini durante a defesa dessa presente tese.

- A falta de indicadores e metodologias estabelecidas e a aplicação de avaliações subjetivas demovem os REs de IET do PELP elaborado pelos países;
- Há divergência de qualidade de dados entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Mesmo entre os países em desenvolvimento essa disparidade existe, exigindo uma colaboração multinacional para o desenvolvimento de medições e construção de histórico de dados para os países menos desenvolvidos;
- Os Mod-Fers são exclusivamente desenvolvidos por empresas e institutos de países desenvolvidos, cuja características estruturais são dispare dos países em desenvolvimento. Tornando onerosa e, até mesmo, não confiável a aplicação delas no modelamento do PELP dos países em desenvolvimento;
- Além do acesso e qualidade do histórico de dados, as dificuldades de avaliação de um RE no PELP estão no âmbito da DSOC e principalmente da DPOL. A DTEC e, mais recentemente, a DAMB são aplicadas recorrentemente no PE dos países e perfazem a estrutura das Mod-Fer;
- É necessário um extenso trabalho de campo para a identificação dos En-Ins, principalmente de núcleos locais, sem respaldo jurídico e técnico, distribuídos na geografia avaliada;
- A listagem e peneiramento dos REs, em relação à tecnologia e à geografia, necessita de rigor metodológico para caracterizá-los e selecioná-los;
- A modularidade e a permissividade de avaliação holística das entradas e saídas do modelo de DPC-IET⁸⁷ permitem uma avaliação ampla e profunda dos índices e indicadores das quatro dimensões de análise. Isso repercute na disponibilidade de informações para os En-Ins e favorece a seleção de REs que possam influir objetivamente no desenvolvimento sustentável da cadeia energética de uma região. Além disso, permite a avaliação dos REs

⁸⁷ Acesso ao modelo desenvolvido no link: <https://github.com/vibadaui/Energy-Planning.git>

internos de um país, sendo possível utilizá-lo para o PE em nível subnacional (Estados) e local (municípios), e, no desenvolvimento de portfólio - seleção de REs novos ou existentes – de uma empresa – geradora, distribuidora, comercializadora – que vise o desenvolvimento sustentável e esteja engajada nas políticas de ESG (*Environmental, Social and Corporate Governance*);

- Há necessidade de avaliação dos pesos de cada atributo dentro das diferentes dimensões, pois considerar pesos isonômicos no ranqueamento, para construção de índice de sustentabilidade e seleção de REs, podem potencializar ou menosprezar as externalidades que cada RE incorre no PELP. Porém, tal método facilita a construção de índice de avaliação, pois permite uma análise holística dos diferentes atributos, subatributos e dimensões;
- O estudo de caso não avaliou os RELDs e nem os REs variáveis. Essa avaliação é importante para expandir a carteira de opções de REs e compará-los quanto a sua influência no desenvolvimento sustentável do setor energético de um país;
- É necessária uma modelagem de forma integrada do setor elétrico dos países para prover estimativas de custos e benefícios econômicos, ambientais, sociais e operacionais. Especialmente, no caso dos benefícios decorrentes de sinergias entre os sistemas (complementariedade e efeito portfólio). A quantificação dos benefícios requer simulações de cenários integrados de LP, a exemplo de BID (2017); e
- Há necessidade de desenvolvimento de uma ferramenta computacional que agregue todas as dimensões, com seus respectivos atributos e subatributos péticos, e ao mesmo tempo permita alterações nas suas lógicas, métodos de cálculos pontuais e alterações dos pesos dos atributos e subatributos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCM. *Estudo Comparativo de Emissões de Gases de Efeito Estufa*. Criciúma. 2013. Disponível em: https://www.carvaomineral.com.br/arquivos/Estudo_Comparativo_GEE_final.pdf.
- ABRAGEL. *Pequenas hidrelétricas podem ser grandes aliadas na retomada da economia no pós-covid-19, Notícias do Setor*. Brasília. 2021. Disponível em: <https://www.abragel.org.br/pequenas-hidreletricas-podem-ser-grandes-aliadas-na-retomada-da-economia-no-pos-covid-19/> (Accessed: 18 June 2021).
- Abreu Junior, A. C. de. *A integração da indústria de energia elétrica na América do Sul: análise dos modelos técnicos e de regulamentação*. Universidade de São Paulo. 2015. doi: 10.11606/D.3.2016.tde-15062016-153831.
- ALBA-TCP. *Historia del ALBA-TCP, Historia*. 2016 Disponível em: <https://www.albatcp.org/historia/> (Accessed: 3 June 2017).
- Almeida, D. M. Q. 'Interconexión Eléctrica Ecuador - Perú', *Revista CIER sin fronteras para la energía*, pp. 94–99. 2017. Disponível em: <http://www.cocier.org/index.php/pt/noticias-de-cocier/revista-cier/612-revista-cier-no-74>.
- Aman, M. M. *et al.* 'A review of Safety, Health and Environmental (SHE) issues of solar energy system', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 41, pp. 1190–1204. 2015. doi: 10.1016/j.rser.2014.08.086.
- Amaral, A. R. P. and Santos, J. M. dos 'A barragem de sobradinho e os atingidos de sento-sé-ba', in *Anais do CONADIS: Congresso Brasileiro de Diversidade do Semiárido*. Campina Grande: Realize Editora, pp. 1–10. 2018. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/50465>.
- Ampofo, A. and Mabefem, M. G. 'Religiosity and Energy Poverty: Empirical evidence across countries', *Energy Economics*, p. 105463. 2021. doi: 10.1016/j.eneco.2021.105463.
- Andrei, M. and Sammarco, G. 'Gas to wire with carbon capture & storage: A sustainable way for on-site power generation by produced gas', in *Society of Petroleum Engineers - SPE Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference 2017*. 2017. doi: 10.2118/188845-ms.
- Aneel *Leilão Aneel - Leilão de Transmissão Nº 01/2020*. 01/2020. Brasília. 2020 Disponível em: <file:///C:/Users/vinic/OneDrive/Área de Trabalho/v7-folder-do-leilao-de-transmissao-01-2020.pdf>.
- ANEEL SIGEL, *SIGEL - Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico*. Brasília. 2021. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/Down/> (Accessed: 11 June 2021).
- ANP *Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural*. 119. Brasília. 2020. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/arquivos/publicacoes/boletins-anp/producao/2020-07-boletim.pdf>.

Antunes, J. C. *Infraestrutura na América do Sul: situação atual, necessidades e complementaridades possíveis com o Brasil*. Brasília. 2007. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/37932>.

Argentina *Constitución de la Nación Argentina (22 de agosto de 1994)*. Buenos Aires. 1994. Disponível em: <https://pdba.georgetown.edu/Parties/Argentina/Leyes/constitucion.pdf>.

Arida, P. and Lara-Resende, A. *Inertial inflation and monetary reform in Brazil*. 85. Rio de Janeiro. 1985. Disponível em: <http://www.econ.puc-rio.br/uploads/adm/trabalhos/files/td85.pdf>.

ARPEL *About ARPEL, Regional Association of Oil, Gas and Biofuels Sector Companies in Latin America and the Caribbean*. 2017. Disponível em: <https://www.arpel.org/> (Accessed: 17 March 2017).

Assumpção, M. 'Terremotos e a convivência com as incertezas da natureza', *Revista USP*, (91), p. 76. 2017. doi: 10.11606/issn.2316-9036.v0i91p76-89.

Auld, G. *et al.* 'Evaluating the effects of policy innovations: Lessons from a systematic review of policies promoting low-carbon technology', *Global Environmental Change*. Elsevier Ltd, 29, pp. 444–458. 2014. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2014.03.002.

Axsen, J. 'Citizen acceptance of new fossil fuel infrastructure: Value theory and Canada's Northern Gateway Pipeline', *Energy Policy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND: ELSEVIER SCI LTD, 75, pp. 255–265. 2014. doi: 10.1016/j.enpol.2014.10.023.

Babae, S. and Loughlin, D. 'The Role of Natural Gas Power Plants with Carbon Capture and Storage in a Low-Carbon Future', in *Presented at 2017 C3E Women in Clean Energy Symposium*. Cambridge, MA, USA: U.S. Environmental Protection Agency | US EPA.2017. Disponível em: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=338530.

Babrauskas, V. 'The West, Texas, ammonium nitrate explosion: A failure of regulation', *Journal of Fire Sciences*. 1 OLIVERS YARD, 55 CITY ROAD, LONDON EC1Y 1SP, ENGLAND: SAGE PUBLICATIONS LTD, 35(5), pp. 396–414. 2017. doi: 10.1177/0734904116685723.

Bacon, R. and Kojima, M. *Issues in Estimating the Employment Generated by Energy Sector Activities, Accounting*. 82732. 2011. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/es/627831468159915345/pdf/827320WP0emplo00Box379875B00PUBLIC0.pdf>.

Baitelo, R. L. *Modelagem completa e análise dos recursos energéticos do lado da demanda para o PIR*. Universidade de São Paulo. 2006. doi: 10.11606/D.3.2006.tde-08122006-145602.

Baitelo, R. L. *Modelo de cômputo e valoração de potenciais completos de recursos energéticos para o planejamento integrado de recursos*. Universidade de São Paulo. 2011. doi: 10.11606/T.3.2011.tde-01032011-142528.

Balderrama, C. *et al.* 'Elemental analysis in energy integration among nations in the framework of the new generation of international energy law', *Revista Andina de Estudios Políticos*. 9(1), pp. 27–45. 2019. doi: 10.35004/raep.v9i1.154.

Batista, G. and Rodríguez, I. 'Reflexiones sobre la evolución y uso de las interconexiones de electricidad en América del Sur', *Revista CIER sin fronteras para la energía*, pp. 49–57. 2017. Disponível em: <http://www.cocier.org/index.php/pt/noticias-de-cocier/revista-cier/612-revista-cier-no-74>.

Bauman, Z. *Modernidade líquida*. Rio de Janeiro: Zahar. 2001. Disponível em: https://lotuspicanalise.com.br/biblioteca/Modernidade_liquida.pdf.

BCB *Correção de Valores, Calculadora do Cidadão*. Brasília. 2021. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAOPublico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice> (Accessed: 19 June 2021).

Van Beeck, N. M. J. P. *Classification of energy models, FEW Research Memorandum, Vol. 777*. Tilburg: Operations research. 1999. Disponível em: <https://pure.uvt.nl/ws/portalfiles/portal/532108/777.pdf>.

Beljansky, M. *et al. Escenarios Energeticos 2030*. Edited by L. Caratori. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 2020. Disponível em: <http://www.escenariosenergeticos.cl/wp/nuevos-escenarios-resultados/>.

Bernal, J. L. de O. *Modelo de integração de recursos energéticos com consideração de delimitadores de potenciais de recursos energéticos visando o plano preferencial do planejamento integrado de recursos*. Universidade de São Paulo. 2018. doi: 10.11606/T.3.2018.tde-22052018-140626.

BID. *Institucional, Banco Interamericano de Desenvolvimento*. 2017. Disponível em: <http://www.iadb.org> (Accessed: 11 March 2017).

BID and ELETROBRAS. 'Arco Norte – Um projeto de integração elétrica', *Revista CIER sin fronteras para la energía*, pp. 85–93. 2017. Disponível em: <http://www.cocier.org/index.php/pt/noticias-de-cocier/revista-cier/612-revista-cier-no-74>.

Bilotta, G. S., Milner, A. M. and Boyd, I. 'On the use of systematic reviews to inform environmental policies', *Environmental Science & Policy*, 42, pp. 67–77. 2014 doi: 10.1016/j.envsci.2014.05.010.

BM. *Licenciamento Ambiental de Empreendimentos Hidrelétricos no Brasil: Uma Contribuição para o Debate*. Relatório N° 40995-BR. Washington. 2008. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/977341468020696724/pdf/409950v10PORTU1rio1S1NTESE01PUBLIC1.pdf>.

BNDES 'Planilha de índice de nacionalização'. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 2021. Disponível em: https://www.cartaobndes.gov.br/cartaobndes/Tutorial/Planilha_de_Indice_de_Nacionalizacao.xls.

Bolivia. *Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia*. La Paz. 2009. Disponível em: [http://www.sepdavi.gob.bo/cs/doc/159Bolivia Consitucion.pdf](http://www.sepdavi.gob.bo/cs/doc/159Bolivia%20Consitucion.pdf).

Bomfim, J. D. 'Movimentos sociais de trabalhadores no Rio São Francisco', *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 45(30), p. 1. 1999. Disponível em: <http://www.ub.edu/geocrit/sn-45-30.htm>.

Bottero, M., Dell'Anna, F. and Morgese, V. 'Evaluating the Transition Towards Post-Carbon Cities: A Literature Review', *Sustainability*. ST ALBAN-ANLAGE 66, CH-4052 BASEL, SWITZERLAND: MDPI, 13(2), p. 567. 2021. doi: 10.3390/su13020567.

BP. *Statistical Review of World Energy 2013*. 2014 London. Disponível em: <http://www.bp.com/statisticalreview>.

BP. *Statistical Review of World Energy 2020*. London. 2020. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>.

BP *Statistical Review of World Energy 2021*. London. 2021. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>.

Brand, B. and Missaoui, R. 'Multi-criteria analysis of electricity generation mix scenarios in Tunisia', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, ENGLAND: PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD, 39, pp. 251–261. 2014. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.069.

Brasil. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília: Subchefia para Assuntos Jurídicos, Casa Civil, Presidência da República. 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm.

Brasil. *Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000*. Brasília: Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos. 2000 Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm.

Bravo, L. and Ferrer, I. 'Life Cycle Assessment of an intensive sewage treatment plant in Barcelona (Spain) with focus on energy aspects', *Water Science & Technology*, 64(2), pp. 440–447. 2011. doi: 10.2166/wst.2011.522.

Buchmayr, A. *et al.* 'The path to sustainable energy supply systems: Proposal of an integrative sustainability assessment framework', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138(May 2020). 2021. doi: 10.1016/j.rser.2020.110666.

Buker, M. S., Mempo, B. and Riffat, S. B. 'Performance evaluation and techno-economic analysis of a novel building integrated PV/T roof collector: An experimental validation', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 76, pp. 164–175. 2014. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.02.078.

Butler, M. J. R. and Allen, P. M. 'Understanding Policy Implementation Processes as Self-Organizing Systems', *Public Management Review*, 10(3), pp. 421–440. 2008. doi: 10.1080/14719030802002923.

Cadavid, L. and Franco, C. J. 'Impact of devaluation on grid parity for residential solar generation in Latin America', *IEEE Latin America Transactions*, 15(11), pp. 2097–2102. 2017. doi: 10.1109/TLA.2017.8070414.

CAF. *Energía: Una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y el Caribe*. Corporación Andina de Fomento (CAF). 2013. Disponível em: http://www.colpos.mx/wb_pdf/Panorama_Seguridad_Alimentaria.pdf.

CAF. *Institucional, Banco de desenvolvimento da América Latina*. 2017. Disponível em: <http://www.caf.com> (Accessed: 11 March 2017).

CAPES. *Acesso remoto via CAFe, Portal de Periódicos CAPES/MEC*. 2021. Disponível em: https://www-periodicos-capes-gov-br.ez1.periodicos.capes.gov.br/index.php?option=com_plogin&ym=3&pds_handle=&calling_system=primo&institute=CAPES&targetUrl=http://www.periodicos.capes.gov.br&Itemid=155&pagina=CAFe.

Carpio, M. 'Hidrologia e sedimentos', *Águas Turvas*, pp. 51–69. 2001. Disponível em: <https://archive.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/aguasturvaslo-res-27-48.pdf>.

Castro, N. De *et al.* 'Usina Hidrelétrica Brasil-Bolívia: Projeto âncora do Plano de Desenvolvimento Regional Sustentável Binacional', in *II Encontro Brasileiro de Estudos para a Paz*. João Pessoa, pp. 1–17. 2017. Disponível em: http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/30_tdse78.pdf.

Castro, N. J., Dassie, A. M. and Delgado, D. *Indicadores Mundiais do Setor Elétrico - As Experiências Latino-Americanas de Integração Energética*. Rio de Janeiro. 2009. Disponível em: <http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/publicacoes/conjuntura/QInternacionalJul09.pdf>.

Castro Verdezoto, P. L., Vidoza, J. A. and Gallo, W. L. R. (2019) 'Analysis and projection of energy consumption in Ecuador: Energy efficiency policies in the transportation sector', *Energy Policy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND: ELSEVIER SCI LTD, 134, p. 110948. doi: 10.1016/j.enpol.2019.110948.

CEEESA. 'Energy and Power Evaluation Program (ENPEP-BALANCE)'. Center for Energy, Environmental, and Economic Systems Analysis (CEEESA) and U.S. Department of Energy (DOE). 2020. Disponível em: <https://ceeesa.es.anl.gov/projects/Enpepwin.html>.

CEPAL. *Acerca da CEPAL, Comissão Econômica para América Latina e o Caribe*. 2017. Disponível em: <http://www.cepal.org> (Accessed: 17 March 2017).

Cerquetani, G. E. and Martins Filho, M. V. (2006) 'Rotina computacional e equação simplificada para modelar o transporte de sedimentos num Latossolo Vermelho Distrófico', *Engenharia Agrícola*, 26(2), pp. 617–626. doi: 10.1590/S0100-69162006000200032.

CETESB. *Matéria Orgânica e Nutrientes, Morandade de Peixes*. 2021. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/materia-organica-e-nutrientes/> (Accessed: 15 June 2021).

CH2M Hill (2017) *Avaliação quanto à Aderência do Projeto “ Porto de Sergipe ” à Política Socioambiental do IIC – Inter-american Investment Corporation , aos Padrões de Desempenho do IFC - International Finance Corporation - e aos Princípios do Equador - PE*. São Paulo. Disponível em: https://www.idbinvest.org/sites/default/files/2018-03/relatorio_ch2m_aderencia_ao_projeto_redact_1.pdf.

Chen, C. (2006) ‘CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature’, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(3), pp. 359–377. doi: 10.1002/asi.20317.

Chen, C. (2014) *Manual do CiteSpace, College of Computing and Informatics Drexel -- Drexel University*. Disponível em: <http://cluster.cis.drexel.edu/~cchen/citespace/>.

Chen, C., Ibekwe-SanJuan, F. and Hou, J. (2010) ‘The Structure and Dynamics of Cocitation Clusters: A Multiple-Perspective Cocitation Analysis’, *J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.* USA: John Wiley & Sons, Inc., 61(7), pp. 1386–1409. Disponível em: <https://dl.acm.org/action/doSearch?AllField=The+Structure+and+Dynamics+of+Co-Citation+Clusters%3A+A+Multiple-Perspective+Co-Citation+Analysis&expand=all&SeriesKey=jasist>.

Chen, G. *et al.* (2019) ‘Environmental, energy, and economic analysis of integrated treatment of municipal solid waste and sewage sludge: A case study in China’, *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 647, pp. 1433–1443. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.104.

Chiu, S. I. H. *et al.* (2015) ‘Life cycle assessment of waste treatment strategy for sewage sludge and food waste in Macau: perspectives on environmental and energy production performance’, *Int J Life Cycle Assess*, 21(2), pp. 176–189. doi: 10.1007/s11367-015-1008-2.

Cianciarullo, M. I. (2020) ‘Panorama futuro de gasodutos e o gás para o Brasil’, *Agência Canal Energia*, August, pp. 1–6. Disponível em: http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/47_cianciarullo_2020_09_02.pdf.

Cicone, D. *et al.* (2008) ‘Functionality of the approach of hierarchical analysis in the full cost accounting in the IRP of a metropolitan airport’, *Energy Policy*, 36(3), pp. 991–998. doi: 10.1016/j.enpol.2007.11.014.

Cicone Junior, D. (2008) *Modelagem e aplicação da avaliação de custos completos através do processo analítico hierárquico dentro do planejamento integrado de recursos., Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*. Universidade de São Paulo. doi: 10.11606/D.3.2008.tde-08062009-164421.

CIER (2011) *Interconexiones internacionales: Información de las interconexiones eléctricas y gasíferas en países de América del Sur y América Central Año 2020*. Montevideo.

CIER (2017a) ‘Construyendo interconexión global de energía en América Latina’, *Revista*

CIER sin fronteras para la energía in *fronteras para la energía*, pp. 20–22. Disponível em: <http://www.cocier.org/index.php/pt/noticias-de-cocier/revista-cier/612-revista-cier-no-74>.

CIER (2017b) ‘Hacia una integración argentino-chilena - Argentina y Chile: un caso de integración energética que se adapta a las necesidades’, *Revista CIER sin fronteras para la energía*, pp. 23–24. Disponível em: <http://www.cocier.org/index.php/pt/noticias-de-cocier/revista-cier/612-revista-cier-no-74>.

CIER (2017c) *Qué es CIER, Comisión de Integración Energética Regional*. Disponível em: <https://www.cier.org/es-uy/Paginas/Home.aspx> (Accessed: 16 March 2017).

Coelho, J. M. (2019) ‘Os desafios para a infraestrutura de escoamento na maximização do valor das reservas de óleo e gás do pré-sal’, in *2º Fórum Técnico Pré-Sal Petróleo*. Rio de Janeiro: Ministerio de Minas e Energia (MME) e Empresa de Pesquisa Energetica (EPE), p. 6. Disponível em: https://www.presalpetroleo.gov.br/ppsa/conteudo/EPE_2_forum_tecnico_presal_petroleo_jose_mauro.pdf.

Cong, X. *et al.* (2021) ‘The early warning system for determining the “not in My Back Yard” of heavy pollution projects based on public perception’, *Journal of Cleaner Production*, 282, p. 125398. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125398.

Corrêa, A. and Sanchez, M. R. (2008) ‘Property regulation in the natural gas sector in Bolivia: impacts for development? [A regulação da propriedade no setor de gás natural na Bolívia: impactos para o desenvolvimento?]’, in *Encontro SELA 2008*. New Haven: Yale Law School SELA (Seminario en Latinoamérica de Teoría Constitucional y Política), pp. 1–27. Disponível em: https://digitalcommons.law.yale.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1063&context=yis_sela.

COSIPLAN (2013) *Cartera de Proyectos 2013. IV Reunión Ordinária de Ministros del COSIPLAN*. Chile.

COSIPLAN (2017a) *Cartera de Proyectos del COSIPLAN, Sistema de información e proyectos*. Disponível em: <http://cosiplan.org/proyectos/> (Accessed: 30 August 2017).

COSIPLAN (2017b) *Extensión del Oleoducto Nor-Peruano, Ficha de Proyecto*. Disponível em: http://www.cosiplan.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=110 (Accessed: 20 September 2017).

COSIPLAN (2017c) *Fortalecimiento de las interconexiones Cuatricentenario - Cuestecitas y El Corozo - San Mateo, Ficha de Proyecto*. Disponível em: http://www.cosiplan.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=106 (Accessed: 18 September 2017).

COSIPLAN (2017d) *Línea de transmisión 500 kV (Itaipú - Villa Hayes), Ficha de Proyecto*. Disponível em: http://www.cosiplan.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=860 (Accessed: 9 March 2017).

COSIPLAN (2017e) *Proyecto interconexión eléctrica Colombia - Ecuador. Línea 230 kV entre subestaciones Pasto (Colombia) y Quito (Ecuador)*. Disponível em:

http://www.cosiplan.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=107 (Accessed: 19 September 2017).

COSIPLAN (2021a) *Construcción de línea de interconexión eléctrica a 34.5 kV entre San Fernando de Atabapo (Venezuela) e Inírida Departamento de Guainia (Colombia), Ficha de Proyecto.* Disponible em: http://www.cosiplan.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=1430 (Accessed: 11 January 2021).

COSIPLAN (2021b) *Construcción de Planta Hidroeléctrica de Garabí, Ficha de Proyecto.* Disponible em: http://www.cosiplan.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=313 (Accessed: 3 June 2021).

COSIPLAN (2021c) *Gasoducto Aldea Brasileña (Argentina) - Uruguaiiana - Porto Alegre, Ficha de Proyecto.* Disponible em: http://www.cosiplan.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=315 (Accessed: 7 June 2021).

COSIPLAN (2021d) *Gasoduto Aldea Brasileira (Argentina) - Uruguaiiana - Porto Alegre, Ficha de Proyecto.* Disponible em: http://www.cosiplan.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=315 (Accessed: 6 June 2021).

COSIPLAN (2021e) *Hidroeléctrica Cachuela Esperanza (Río Madre de Dios - Bolivia), Ficha de Proyecto.* Disponible em: http://cosiplan.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=330 (Accessed: 3 June 2021).

COSIPLAN (2021f) *Hidroeléctrica Binacional Bolivia - Brasil, Ficha de Proyecto.* Disponible em: http://cosiplan.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=335 (Accessed: 3 June 2021).

COSIPLAN (2021g) *Interconexión Eléctrica Ecuador - Perú, Ficha de Proyecto.* Disponible em: http://www.cosiplan.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=115 (Accessed: 11 January 2021).

COSIPLAN (2021h) *Interconexión Eléctrica entre Uruguay y Brasil, Ficha de Proyecto.* Disponible em: http://www.cosiplan.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=1278 (Accessed: 31 May 2017).

COSIPLAN (2021i) *Línea de transmisión San Gabán - Puerto Maldonado, Ficha de Proyecto.* Disponible em: http://www.cosiplan.org/proyectos/detalle_proyecto.aspx?h=940 (Accessed: 7 June 2021).

Cosseron, A., Schlosser, C. A. and Gunturu, U. B. (2014) *Characterization of the Wind Power Resource in Europe and its Intermittency.* Cambridge. Disponible em: http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/91464%5Cnhttp://dspace.mit.edu/bitstream/1721.1/91464/1/MITJPSPGC_Rpt268.pdf%5Cnhttps://dspace.mit.edu/handle/1721.1/91464.

Coutinho, A. *et al.* (2019) 'Hybrid Power Supply Assessment in Long Term Basis Considering Complementarity of Wind and Solar Resources', in *2019 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*. Porto: IEEE, pp. 1–6.

- David, S. M. G. R. (2017) 'Visión de la Integración Energética en América del Sur como respuesta a los intereses energéticos nacionales', *Revista CIER sin fronteras para la energía*, pp. 27–48. Disponible em: <http://www.cocier.org/index.php/pt/noticias-de-cocier/revista-cier/612-revista-cier-no-74>.
- Debnath, K. B. and Mourshed, M. (2018a) 'Challenges and gaps for energy planning models in the developing-world context', *NATURE ENERGY*. MACMILLAN BUILDING, 4 CRINAN ST, LONDON N1 9XW, ENGLAND: NATURE PUBLISHING GROUP, 3(3), pp. 172–184. doi: 10.1038/s41560-018-0095-2.
- Debnath, K. B. and Mourshed, M. (2018b) 'Challenges and gaps for energy planning models in the developing-world context', *Nature Energy*. MACMILLAN BUILDING, 4 CRINAN ST, LONDON N1 9XW, ENGLAND: NATURE PUBLISHING GROUP, 3(3), pp. 172–184. doi: 10.1038/s41560-018-0095-2.
- Dechy, N. *et al.* (2004) 'First lessons of the Toulouse ammonium nitrate disaster, 21st September 2001, AZF plant, France', *JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS*. PO BOX 211, 1000 AE AMSTERDAM, NETHERLANDS: ELSEVIER SCIENCE BV, 111(1–3), pp. 131–138. doi: 10.1016/j.jhazmat.2004.02.039.
- Demarty, M. and Bastien, J. (2011) 'GHG emissions from hydroelectric reservoirs in tropical and equatorial regions: Review of 20 years of CH₄ emission measurements', *Energy Policy*. Elsevier, 39(7), pp. 4197–4206. doi: 10.1016/j.enpol.2011.04.033.
- Dennen, B. *et al.* (2007) *California's Energy-Water Nexus: Water Use in Electricity Generation*. Santa Brabara. Disponible em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.456.4781&rep=rep1&type=pdf>.
- Dinato, R. M. *et al.* (2016) 'Environmental Issues Related to Electricity Exchange Between South American Countries', in *23rd World Energy Congress*. Istanbul: World Energy Council (WEC), pp. 1343–1358.
- DNEP (2019) *Reporte Anual de Reservas - 2018, Consolidación de Reservas de Gas y Petróleo de la República Argentina*. 2018. Buenos Aires. Disponible em: http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/mercado_hidrocarburos/informacion_estadistica/reservas/Reporte_de_Reservas_2018-Version_Final_24-Oct-19.pdf.
- DNIE (2020) *Reservas al 31/12/2019 hasta el Final de la Vida Útil de los Yacimientos/ Fin de la concesión, Datos Argentina*. Buenos Aires: Secretaría de Gobierno de Energía.Subsecretaría de Planeamiento Energético.Dirección Nacional de Información Energética. Disponible em: https://datos.gob.ar/ar/dataset/energia-reservas-petroleo-gas/archivo/energia_a6335f54-75d6-4d21-85a4-d8343a21548a (Accessed: 23 March 2021).
- Domenech, B., Ferrer-Martí, L. and Pastor, R. (2015) 'Hierarchical methodology to optimize the design of stand-alone electrification systems for rural communities considering technical and social criteria', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,

51, pp. 182–196. doi: 10.1016/j.rser.2015.06.017.

DOU (2021) *Autorização SGE-ANP nº 259, de 13 de maio de 2021*. Brasília: Ministério de Minas e Energia (MME), Agência Nacional de PEtróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/autorizacao-sge-anp-n-259-de-13-de-maio-de-2021-319808232>.

Dranka, G. G. and Ferreira, P. (2018) 'Planning for a renewable future in the Brazilian power system', *Energy*, 164, pp. 496–511. doi: 10.1016/j.energy.2018.08.164.

Dunning, T. (1993) 'Accurate Methods for the Statistics of Surprise and Coincidence', *Comput. Linguist.* Cambridge, MA, USA: MIT Press, 19(1), pp. 61–74. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/972450.972454>.

ECLAC (2013) *Natural Resources: status and trends towards a regional development agenda in Latin America and the Caribbean*, Economic Commission for Latin America and the Caribbean. Santiago de Chile. Disponível em: <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/35892>.

ECLAC (2015) *Panorama del desarrollo territorial en América Latina y el Caribe , 2015. Pactos para la igualdad territorial*. Santiago de Chile. Disponível em: <http://www.cepal.org/es/publicaciones/39223-panorama-desarrollo-territorial-america-latina-caribe-2015-pactos-la-igualdad>.

ECLAC (2019) *Planning for sustainable territorial development in Latin America and the Caribbean*. (LC/CRP.17/3). Santiago de Chile. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44732/1/S1900438_en.pdf.

Eletrobras (2004) 'Complexo hidrelétrico do rio madeira'. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, p. 27. Disponível em: <http://www.tec.abinee.org.br/2004/arquivos/217.pdf>.

Eletrobras (2021) *Perguntas Frequentes sobre Garabi-Panambi, UnE Garabi-Panambi*. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Perguntas-Frequentes-sobre-Garabi-Panambi.aspx> (Accessed: 12 June 2021).

ELETROBRAS (2013) *No Title*. Disponível em: <http://www.eletrobras.com> (Accessed: 3 February 2021).

Eletrobras and Ebisa (2012) *Estudos de aproveitamento hidrelétrico do rio Uruguai no trecho binacional entre Argentina e Brasil*. Setembro de 2012. São Borja. Disponível em: https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/geracao/garabi_panambi/São_Borja_set_2012_ACISB.pdf.

Eletrobras Furnas (2021) *Usina de Santo Antônio - 3.568,3 MW, Sistema FURNAS*. Disponível em: <https://www.furnas.com.br/subsecao/134/usina-de-santo-antonio---35683-mw?culture=pt> (Accessed: 20 June 2021).

ENERDATA (2012) *No Title*. Disponível em: www.enerdata.net.

EnergyPlan (2020) 'Advanced energy system analysis computer model'. Aalborg: Sustainable Energy Planning Research Group. Disponível em: <https://www.energyplan.eu/>.

Enrriquez, A. F., Garrido, M. A. and Sanabria, J. G. (2019) 'A methodology to evaluate visual impact. Application to the beach of El Palmar de Vejer (Cádiz)', *GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 23, pp. 141–162. doi: 10.21138/GF.624.

EPE (2017) *Plano Decenal de Expansão de Energia 2026*.

EPE (2018a) *Disponibilidade Hídrica e Usos Múltiplos*. Rio de Janeiro.

EPE (2018b) *Panorama e Perspectivas sobre Integração Energética Regional*. Rio de Janeiro.

EPE (2019) *PIG - Plano Indicativo de Gasodutos de Transporte*. Rio de Janeiro: EPE/MME.

EPE (2020a) *A Indústria de Gás Natural na Argentina: Panorama, Perspectivas e Oportunidades para o Brasil*. EPE/DPG/SPG/04/2020. Rio de Janeiro. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-492/Nota Tecnica A Industria Gas Natural na Argentina_Panorama perspectivas e oportunidades para o Brasil_DPG_SPG.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-492/Nota_Tecnica_A_Industria_Gas_Natural_na_Argentina_Panorama_perspectivas_e_oportunidades_para_o_Brasil_DPG_SPG.pdf).

EPE (2020b) *Plano Nacional de Energia - PNE 2050*. Brasília. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio Final do PNE 2050.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio_Final_do_PNE_2050.pdf).

EPE (2020c) *Preços de gás natural nos mercados nacional e internacional: horizonte 2020-2030*. EPE/DPG/SPG/08/2020. Rio de Janeiro. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-531/EPE, 2020 - Nota Técnica Preços de Gás Natural.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-531/EPE_2020_-_Nota_Tecnica_Preços_de_Gás_Natural.pdf).

ETSAP (2020a) 'MARKAL'. Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP) of the International Energy Agency. Disponível em: <https://iea-etsap.org/index.php/etsap-tools/model-generators/markal>.

ETSAP (2020b) 'TIMES'. Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP) of the International Energy Agency (IEA). Disponível em: <https://iea-etsap.org/index.php/etsap-tools/model-generators/times>.

European Central Bank (2017) *What is forward guidance, Explainers*. Disponível em: https://www.ecb.europa.eu/ecb/educational/explainers/tell-me/html/what-is-forward_guidance.en.html (Accessed: 15 December 2017).

European Commission (2020) *Powering a climate-neutral economy: an EU strategy for energy system integration, Human Relations*. COM(2020) 299 final. Brussels. Disponível em: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/energy_system_integration_strategy_.pdf.

Faria, D. M. C. *et al.* (2016) 'Power Deal of Canada & US Assessment Seeking a Brazilian Model for Energy Integration in South America', in *23rd World Energy Congress*. Istanbul: World Energy Council (WEC), pp. 607–625.

Fazey, I. *et al.* (2010) 'A three-tiered approach to participatory vulnerability assessment in the Solomon Islands', *Global Environmental Change*, 20(4), pp. 713–728. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2010.04.011.

Fearnside, P. (2014) 'Brazil's Madeira River Dams: A Setback for Environmental Policy in Amazonian Development', *Water Alternatives*, 7(1), pp. 154–167.

Fearnside, P. (2015a) 'As barragens do Rio Madeira: Um revés para a política ambiental no desenvolvimento da Amazônia Brasileira', in *Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões sobre Grandes Obras*. 1st edn. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), p. 296.

Fearnside, P. (2015b) 'Impactos das barragens do Rio Madeira: Lições não aprendidas para o desenvolvimento hidrelétrico na Amazônia', in *Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões sobre Grandes Obras*. 1st edn. Manaus: Editora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), p. 296. doi: 10.1016/j.envsci.2013.11.004.

Ferreira, A. L. *et al.* (2022) *Inventário de emissões atmosféricas em usinas termelétricas: geração de eletricidade, emissões e lista de empresas proprietárias das termelétricas a combustíveis fósseis e de serviço público do Sistema Interligado Nacional (ano-base 2020)*. São Paulo. Disponível em: http://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2022/06/IEMA_inventariotermeletricas_2022.pdf.

Figueirêdo Neto, G. S. and Rossi, L. A. (2019) 'Photovoltaic energy in the enhancement of indigenous education in the Brazilian Amazon', *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 132(October 2018), pp. 216–222. doi: 10.1016/j.enpol.2019.05.037.

Flores, M. C. (2017) 'Turbulência hidrelétrica: A rivalidade histórica Brasil-Argentina logo será página virada. Ou melhor, quase virada...', *O Estado de S.Paulo*, 12 August, p. 1. Disponível em: <https://opinioao.estadao.com.br/noticias/geral,turbulencia-hidreletrica,70001933553>.

FONPLATA (2016) *Institucional, Fundo Financeiro para o Desenvolvimento dos Países da Bacia do Prata*. Disponível em: www.fonplata.org (Accessed: 11 February 2017).

Fontanelli, A. D. R. *et al.* (2015) 'Venezuelas's entry in Mercosur: challenges and strategic advantages to international insertion of Brazil [A entrada da Venezuela no Mercosul: desafios e vantagens estratégicas à inserção internacional do Brasil]', *RICRI*, 3(5), pp. 33–59. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/ricri/article/view/25351>.

Fujii, R. J. (2006) *Modelo de caracterização sistêmica das opções de oferta energética para o PIR*. Universidade de São Paulo. doi: 10.11606/D.3.2006.tde-23042007-141058.

FUNAI (2020) *Terras Indígenas Situação Fundiária*. Brasília.

Furtado, F. *et al.* (2011) 'Avaliação dos efeitos de usinas hidrelétricas sobre o desenvolvimento socioeconômico dos municípios diretamente afetados', *Revista*

Pesquisa e Desenvolvimento da Aneel, (4).

Gaete-Morales, C. *et al.* (2019) 'A novel framework for development and optimisation of future electricity scenarios with high penetration of renewables and storage', *Applied Energy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND: ELSEVIER SCI LTD, 250, pp. 1657–1672. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.05.006.

Galvão, L. C. R. *et al.* (2019) 'Análise procedimental da energia contida no recurso do vento verificada através de tecnologias consolidadas de geração eólica', in *Brazil Windpower 2019 Conference and Exhibition*. São Paulo: ABEEólica, pp. 1–12.

Galvão, M. D. (2015) *Inclusão da análise da dimensão política no planejamento do setor elétrico*. Universidade de São Paulo. doi: 10.11606/D.3.2016.tde-15072016-163341.

García-Gusano, D., Iribarren, D. and Dufour, J. (2018) 'Is coal extension a sensible option for energy planning? A combined energy systems modelling and life cycle assessment approach', *Energy Policy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND: ELSEVIER SCI LTD, 114, pp. 413–421. doi: 10.1016/j.enpol.2017.12.038.

García Kerdan, I. *et al.* (2019) 'Modelling cost-effective pathways for natural gas infrastructure: A southern Brazil case study', *Applied Energy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND: ELSEVIER SCI LTD, 255, p. 113799. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113799.

Gas Ocidente (2021) *Gasoduto Lateral-Cuiabá, Informações do Empreendimento*. Disponível em: http://www.gasocidentemt.com.br/plataforma_eletronica.asp (Accessed: 6 June 2021).

GasOcidente (2021) *Gasoduto Bolívia - Mato Grosso, Gasoduto*. Disponível em: <http://www.gasocidentemt.com.br/gasoduto.asp> (Accessed: 7 June 2021).

Gebretsadik, Y. *et al.* (2016) 'Optimized reservoir operation model of regional wind and hydro power integration case study: Zambezi basin and South Africa', *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 161, pp. 574–582. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.09.077.

Global CCS Institute (2021) *Technology Readiness and Costs of CCS*. Melbourne. Disponível em: <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/04/CCS-Tech-and-Costs.pdf>.

Gómez, A., Dopazo, C. and Fueyo, N. (2016) 'The “cost of not doing” energy planning: The Spanish energy bubble', *Energy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, ENGLAND: PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD, 101, pp. 434–446. doi: 10.1016/j.energy.2016.02.004.

Gómez, C. R., Arango-Aramburo, S. and Larsen, E. R. (2017) 'Construction of a Chilean energy matrix portraying energy source substitution: A system dynamics approach', *Journal of Cleaner Production*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND: ELSEVIER SCI LTD, 162, pp. 903–913. doi:

10.1016/j.jclepro.2017.06.111.

Gonçalves, A. R. *et al.* (2018) 'Cenários de expansão da geração solar e eólica na matriz elétrica brasileira', in *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar*. Gramado: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, pp. 1–10. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/499#:~:text=Os resultados mostram que apesar,GW em termelétricas podem trazer.>

González-Eguino, M. (2015) 'Energy poverty: An overview', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, pp. 377–385. doi: 10.1016/j.rser.2015.03.013.

Grant, M. J. and Booth, A. (2009) 'A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies', *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), pp. 91–108. doi: 10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x.

Greenpeace (2021) *Youth take Arctic oil to European Court*, *Greenpeace International*. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/international/press-release/48385/youth-take-arctic-oil-to-european-court/>.

Gudynas, E. (2008) 'As instituições financeiras e a integração na América do Sul', in Verdum, R. (ed.) *Financiamento e megaprojetos. Uma interpretação da dinâmica regional sul americana*. Brasília: Inesc.

Guerreiro, S. and Botetzagias, I. (2018) 'Empowering communities – the role of intermediary organisations in community renewable energy projects in Indonesia', *Local Environment*, 23(2), pp. 158–177. doi: 10.1080/13549839.2017.1394830.

Guimaraes, P. H., Figueiredo, A. and Bonjour, S. (2010) 'O Sistema de Distribuição de Gás Natural em Mato Grosso: Uma Abordagem Institucionalista', *Panorama Socioeconómico*, 28(41), pp. 126–143. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/399/39920230006.pdf>.

Hall, L. M. H. and Buckley, A. R. (2016) 'A review of energy systems models in the UK: Prevalent usage and categorisation', *Applied Energy*, 169, pp. 607–628. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.02.044.

Henao, F. and Dyner, I. (2020) 'Renewables in the optimal expansion of colombian power considering the Hidroituango crisis', *Renewable Energy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, ENGLAND: PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD, 158, pp. 612–627. doi: 10.1016/j.renene.2020.05.055.

Hope, A. L. B. and Jones, C. R. (2014) 'The impact of religious faith on attitudes to environmental issues and Carbon Capture and Storage (CCS) technologies: A mixed methods study', *Technology in Society*, 38, pp. 48–59. doi: 10.1016/j.techsoc.2014.02.003.

IADB (2020a) *Comercio de electricidad regional, Hub de Energía América Latina y el Caribe - Integración Energética*. Disponível em: <https://hubenergia.org/index.php/es/indicadores/comercio-de-electricidad-regional>.

IADB (2020b) *Comercio exterior de productos seleccionados para el sector de energías renovables y de electromovilidad, Hub de Energía América Latina y el Caribe - Integración*

Energética. Disponível em: <https://hubenergia.org/es/indicators/comercio-exterior-de-productos-seleccionados-para-el-sector-de-energias-renovables-y-de>.

IADB (2020c) *Oferta y demanda de electricidad, Hub de Energía América Latina y el Caribe - Balance Energético y Infraestructura*. Disponível em: <https://hubenergia.org/es/indicators/oferta-y-demanda-de-electricidad>.

IADB (2020d) *Pérdidas de electricidad como porcentaje de la oferta total de electricidad, Hub de Energía América Latina y el Caribe - Pérdidas y calidad de servicio*. Disponível em: <https://hubenergia.org/es/indicators/perdidas-de-electricidad-como-porcentaje-de-la-oferta-total-de-electricidad>.

IBGE (2017) *Série histórica, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/defaultseriesHist.shtm (Accessed: 11 August 2017).

IBGE (2018) *Overview [Panorama]*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao.html> (Accessed: 20 May 2018).

ICEMBio (2021) *Unidades de Conservação, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Ministério do Meio Ambiente*. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros>.

ICMBio (2019) *Unidades de conservação federais, rppn, centros de pesquisa e coordenações regionais*. Brasília. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/servicos/geoprocessamento/DCOL/Mapa_UC_fed_jul_2019.pdf.

IEA (2010) *World Energy Outlook 2010*. Paris.

IEA (2017a) *Key World Energy statistics 2017, IEA International Energy Agency*. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

IEA (2017b) *World Energy Outlook 2017*. Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2017>.

IEA (2019) *Key World Energy Statistics*. Paris. doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.00927-1.

IEA (2020) *Key World Energy Statistics 2020*. Paris: IEA Publications. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/1b7781df-5c93-492a-acd6-01fc90388b0f/Key_World_Energy_Statistics_2020.pdf.

IEA and NEA (2015) *Projected Cost og Generating Electricity 2015 Edition*. Paris. Disponível em: <https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2015/7057-proj-costs-electricity-2015.pdf>.

IEA and NEA (2020) *Projected Cost og Generating Electricity 2020 Edition*. Paris. Disponível em: https://ncdc.gov.ng/themes/common/docs/protocols/111_1579986179.pdf.

IEMA (2015) *Regulação ambiental da termelétricidade no Brasil – controle de emissão de poluentes*. 18.07.2015. São Paulo. Disponível em: http://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2015/01/RegulacCCA7aCC83o-agua-2015-07-18_versaCC83o_site.pdf.

IIRSA (2016a) *Iniciativa para a Integração da Infraestrutura Regional Sul-Americana*. Disponível em: <http://www.iirsa.org>.

IIRSA (2016b) *Seção IV: Carteiras de Projetos IIRSA 2009, Iniciativa para a Integração da Infraestrutura Regional Sul-Americana (IIRSA)*. Disponível em: http://www.iirsa.org/admin_iirsa_web/Uploads/Documents/lb09_seccion4_por.pdf (Accessed: 18 April 2016).

IMF (2012) *International Monetary Fund*. Disponível em: www.imf.org.

INE (2018) *En Bolivia hay más de tres millones de hogares*. Santa Cruz. Disponível em: <https://www.ine.gob.bo/index.php/en-bolivia-hay-mas-de-tres-millones-de-hogares/> (Accessed: 15 June 2021).

INEI (2018) 'Características del Hogar', in *Perú: Perfil Sociodemográfico, 2017*. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, pp. 353–392. Disponível em: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/cap06.pdf.

IPCC (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by The Core Writing Team, R. K. Pachauri, and L. A. Meyer. Geneva, Switzerland. Disponível em: https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf.

IPCC (2018) *Global warming of 1.5°C*. Disponível em: www.ipcc.ch.

IRENA (2020) *Renewable Energy and Energy Pledges: five years after the Paris Agreement*. Abu Dhabi. Disponível em: https://www.cier.org/es-uy/Lists/EstadisticasLD/SÍNTESIS INFORMATIVA_Datos2018final.pdf.

ISA (2021) *Unidades de Conservação no Brasil, Mapa de Unidades de Conservação no Brasil, Instituto Socioambiental*. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/>.

Ivner, J. *et al.* (2010) 'New tools in local energy planning: experimenting with scenarios, public participation and environmental assessment', *Local Environment*, 15(2), pp. 105–120. doi: 10.1080/13549830903527639.

Jiang, K. and Ashworth, P. (2021) 'The development of Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) research in China: A bibliometric perspective', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 138(December 2019), p. 110521. doi: 10.1016/j.rser.2020.110521.

Jirau Energia (2021) *Características, A Usina - Energia Sustentável do Brasil SA*. Disponível em: <https://www.esbr.com.br/a-usina> (Accessed: 20 June 2021).

Johnsson, J., Björkqvist, O. and Wene, C.-O. (1992) 'Integrated energy-emissions control

planning in the community of Uppsala', *International Journal of Energy Research*, 16(3), pp. 173–188. doi: 10.1002/er.4440160302.

Kanayama, P. H. (2007) *Mecanismos de desenvolvimento limpo no planejamento integrado de recursos energéticos*. Universidade de São Paulo. doi: 10.11606/T.3.2017.tde-28032017-082209.

Kelman, J. (2007) 'A expansão de energia elétrica'. Rio de Janeiro: Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), p. 77. Disponível em: <http://www.kelman.com.br/pdf/ufrj-mar07.pdf>.

Kiani, B. *et al.* (2013) 'Optimal electricity system planning in a large hydro jurisdiction: Will British Columbia soon become a major importer of electricity?', *Energy Policy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND: ELSEVIER SCI LTD, 54, pp. 311–319. doi: 10.1016/j.enpol.2012.11.040.

Kikstra, J. S. *et al.* (2021) 'Decent living gaps and energy needs around the world', *Environmental Research Letters*, pp. 0–12. doi: 10.1088/1748-9326/ac1c27.

Koltsaklis, N. E. *et al.* (2014) 'A spatial multi-period long-term energy planning model: A case study of the Greek power system', *Applied Energy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND: ELSEVIER SCI LTD, 115, pp. 456–482. doi: 10.1016/j.apenergy.2013.10.042.

Kumar, A. *et al.* (2021) 'A state-of-the-art review of greenhouse gas emissions from Indian hydropower reservoirs', *Journal of Cleaner Production*, 320(March), p. 128806. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128806.

Leal, F. I., Rego, E. E. and de Oliveira Ribeiro, C. (2017) 'Levelized cost analysis of thermoelectric generation in Brazil: A comparative economic and policy study with environmental implications', *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 44, pp. 191–201. doi: 10.1016/j.jngse.2017.04.017.

LEAP (2020) 'Low Emissions Analysis Platform'. Stockholm: Stockholm Environment Institute. Disponível em: <https://leap.sei.org/default.asp?action=introduction>.

Lee, N. C., Leal, V. M. S. and Dias, L. C. (2018) 'Identification of objectives for national energy planning in developing countries', *Energy Strategy Reviews*. RADARWEG 29, 1043 NX AMSTERDAM, NETHERLANDS: ELSEVIER, 21, pp. 218–232. doi: 10.1016/j.esr.2018.05.004.

Lehmann, R. (2021) 'Knowledge, Research, and Germany's Bioeconomy: Inclusion and Exclusion in Bioenergy Funding Policies', in Backhouse, M. *et al.* (eds) *Bioeconomy and Global Inequalities*. 1st edn. Cham: Springer International Publishing, pp. 107–129. doi: 10.1007/978-3-030-68944-5.

Levasseur, A. *et al.* (2021) 'Improving the accuracy of electricity carbon footprint: Estimation of hydroelectric reservoir greenhouse gas emissions', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 136(October 2020), p. 110433. doi: 10.1016/j.rser.2020.110433.

Loayza, N. V. *et al.* (2007) 'Macroeconomic Volatility and Welfare in Developing Countries: An Introduction', *The World Bank Economic Review*, 21(3), pp. 343–357. doi: 10.1093/wber/lhm017.

Lopes, G. de C. (2013) *Estudo sobre a implantação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) na faixa de fronteira ocidental paranaense*, *Journal of Chemical Information and Modeling*. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Disponível em: http://www2.fct.unesp.br/pos/geo/dis_teses/05/05_noeli.pdf.

Machado, P. G. *et al.* (2019) 'Energy systems modeling: Trends in research publication', *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 8(4), pp. 1–15. doi: 10.1002/wene.333.

Machol, B. and Rizk, S. (2013) 'Economic value of U.S. fossil fuel electricity health impacts', *Environment International*. Elsevier B.V., 52, pp. 75–80. doi: 10.1016/j.envint.2012.03.003.

Malkawi, S., Al-Nimr, M. and Azizi, D. (2017) 'A multi-criteria optimization analysis for Jordan's energy mix', *Energy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, ENGLAND: PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD, 127, pp. 680–696. doi: 10.1016/j.energy.2017.04.015.

Martinez-Bolaños, J. *et al.* (2021) 'Performance Analysis of Topologies for Autonomous Hybrid Microgrids in Remote Non-Interconnected Communities in the Amazon Region', *Sustainability*, 13, p. 44. doi: 10.3390/su13010044.

Maruyama, F. M. (2013) *Arquitetura do plano preferencial de recursos para o setor elétrico no planejamento integrado de recursos energéticos*. Universidade de São Paulo. doi: 10.11606/D.3.2013.tde-22092014-112505.

Maruyama, F. M. *et al.* (2018) 'Bases for the Preferential Plan from an Integrated Energy Resources Planning', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 188, p. 012046. doi: 10.1088/1755-1315/188/1/012046.

Mathy, S., Menanteau, P. and Criqui, P. (2018) 'After the Paris Agreement: Measuring the Global Decarbonization Wedges From National Energy Scenarios', *Ecological Economics*. Elsevier, 150(January), pp. 273–289. doi: 10.1016/j.ecolecon.2018.04.012.

Matiello, C. and Queluz, G. L. (2015) 'The definition of Itaipu hydroelectric dam ' s electric frequency: trajectories and sociotechnical controversies [A definição da frequência de geração da UHE de Itaipu: trajetórias e controvérsias sociotécnicas]', *Revista Tecnologia e Sociedade*, 11(23), pp. 58–70. doi: 10.3895/rts.v11n23.2738.

Mcelhinny, V. (2008) 'A IIRSA em uma encruzilhada: indicativos de mudança e implicações para a advocacy', in Verdum, R. (ed.) *Financiamento e megaprojetos. Uma interpretação da dinâmica regional sul Americana*. 1st edn. Brasília: Inesc, pp. 49–78. Disponível em: https://issuu.com/inesc_criancanoparlamento/docs/financiamento_megaprojetos.

Mendes, N. A. S. (2005) *Usinas Hidrelétricas e seus impactos: os aspectos socioambientais e econômicos do Reassentamento Rural de Rosana - Euclides da Cunha*

Paulista. Universidade Estadual Paulista. Disponível em: http://www2.fct.unesp.br/pos/geo/dis_teses/05/05_noeli.pdf.

MERCOSUL (2016) *Mercado Comum do Sul*. Disponível em: <http://www.mercosur.int>.

Meres Valadão, F. *et al.* (2020) 'Potential of wind and solar energy available an aerial basin: taking advantage of the integration of dams hydrosystems', in *37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*. Lisbon: EUPVSEC, pp. 1–10. doi: 10.4229/EUPVSEC20202020-6CV.2.25.

MESSAGE (2020) 'A modeling framework for medium- to long-term energy system planning, energy policy analysis, and scenario development'. Vienna: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Disponível em: <https://iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/Energy/MESSAGE.en.html>.

MHE (2014) *Plan Eléctrico del Estado Plurinacional de Bolivia 2025*. La Paz. Disponível em: <https://observatoriocdbolivia.files.wordpress.com/2015/08/peebol2025.pdf>.

Mikučionienė, R., Martinaitis, V. and Keras, E. (2014) 'Evaluation of energy efficiency measures sustainability by decision tree method', *Energy and Buildings*, 76, pp. 64–71. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.02.048.

Miljand, M. (2020) 'Using systematic review methods to evaluate environmental public policy: methodological challenges and potential usefulness', *Environmental Science and Policy*. Elsevier, 105(April 2019), pp. 47–55. doi: 10.1016/j.envsci.2019.12.008.

MINEM (2007) *Informe Final Elaboracion De Resúmenes Ejecutivos y Fichas de Estudios de las Centrales Hidroeléctricas con Potencial para la Exportación a Brasil*. Noviembre 2007. Lima. Disponível em: [http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/promocion electrica/Centrales hidroelÁ©ctricas con potencial para la exportacion a brasil.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/promocion%20electrica/Centrales%20hidroel%C3%A9ctricas%20con%20potencial%20para%20la%20exportacion%20a%20brasil.pdf).

MINEM (2010) *Construcción de Hidroeléctrica Inambari Requiere Consenso de la Población, Electricidad*. São Borja. Disponível em: <http://www.minem.gob.pe/descripcion.php?idSector=6&idTitular=1886> (Accessed: 10 June 2021).

MINEM (2013) *Plan Energético Nacional 2014-2025: documento de Trabajo*. Lima. doi: 10.5209/CMPL.31052.

MINEM (2021) *Visor de Mapas - DGER, Ministerio de Energía y Minas*. Disponível em: https://mapas.minem.gob.pe/map_dger/.

Ministerio de Energía (2012) *Estrategia Nacional de Energía 2012 - 2030 - Energía para el Futuro, Ministerio de Energía Gobierno de Chile*. Santiago de Chile. Disponível em: <http://www.minenergia.cl/documentos/estudios/2012/estrategia-nacional-de-energia-2012.html>.

Mirasgedis, S. *et al.* (2004) 'Mitigation policies for energy related greenhouse gas emissions in Cyprus: the potential role of natural gas imports', *Energy Policy*. THE

BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND: ELSEVIER SCI LTD, 32(8), pp. 1001–1011. doi: 10.1016/S0301-4215(03)00048-X.

Mirjat, N. H., Uqaili, Muhammad Aslam, *et al.* (2018) 'Long-term electricity demand forecast and supply side scenarios for Pakistan (2015–2050): A LEAP model application for policy analysis', *Energy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, ENGLAND: PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD, 165(B), pp. 512–526. doi: 10.1016/j.energy.2018.10.012.

Mirjat, N. H., Uqaili, Mohammad Aslam, *et al.* (2018) 'Multi-Criteria Analysis of Electricity Generation Scenarios for Sustainable Energy Planning in Pakistan', *Energies*, 11(4), pp. 1–33. doi: 10.3390/en11040757.

MME (2018a) *Boletim mensal de acompanhamento da indústria de gás natural - Destaques de março de 2018, EDIÇÃO Nº 133*. Brasília. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/1138769/0/Boletim_Gas_Natural_nr_133_MAR_18..pdf/32de0096-12d2-49f8-a9d4-a878ba919a59.

MME (2018b) *Portaria Nº 339, de 15 de Agosto de 2018*. Brasília, Brasil.

MME (2020a) *Portaria Nº 272, de 02 de julho de 2020*. Brasília: Ministério de Minas e Energia (MME). Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-272-de-2-de-julho-de-2020-265940471>.

MME (2020b) *Relatório Trimestral: Acompanhamento da Abertura do Mercado de Gás Natural*. Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/novo-mercado-de-gas/cmgn/publicacoes/6RelatrioTrimestralCMGN4T2020revFinal.pdf>.

MME (2021) *Boletim mensal de acompanhamento da indústria de gás natural - Junho de 2021*. 172. Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/publicacoes-1/boletim-mensal-de-acompanhamento-da-industria-de-gas-natural/2021/06-boletim-de-acompanhamento-da-industria-de-gas-natural-junho-de-2021.pdf/@@download/>.

Moran, E. F. *et al.* (2018) 'Sustainable hydropower in the 21st century', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(47), pp. 11891–11898. doi: 10.1073/pnas.1809426115.

Mota, L. L., Baleeiro, D. S. and Cortez, B. P. (2019) 'Gas to Wire as an Alternative to Natural Gas Monetization of the Pre-Salt Province in Brazil', in *Offshore Technology Conference Brasil*. Rio de Janeiro: Offshore Technology Conference, pp. 1–13. doi: 10.4043/29852-MS.

Moura, G. N. P. de (2017) *Long-term power systems integration using Osemosys Samba - South America Model Base - and the bargaining power of countries: a cooperative games approach*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://antigo.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/gmoura.pdf>.

Moutis, P., Skarvelis-Kazakos, S. and Brucoli, M. (2016) 'Decision tree aided planning

and energy balancing of planned community microgrids', *Applied Energy*, 161, pp. 197–205. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.10.002.

MSU (2020) 'Michigan State University's Integrated Model for Long Term Campus Energy Planning (IEPM)'. Michigan: Michigan State University and U.S. Department of Energy (DOE). Disponível em: <https://betterbuildingsolutioncenter.energy.gov/implementation-models/michigan-state-universitys-integrated-model-long-term-campus-energy-planning>.

Myhre, G., D. *et al.* (2015) 'Global Warming Potential Values', *Greenhouse Gas Protocol*, 2014(1995), pp. 2–5. Disponível em: [https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%28Feb 16 2016%29_1.pdf](https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%28Feb%2016%29_1.pdf).

Myhre, G. *et al.* (2013) 'Anthropogenic and natural radiative forcing', in Stocker, T. F. *et al.* (eds) *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York: Cambridge University Press, pp. 659–740. doi: 10.1017/CBO9781107415324.018.

Nautiyal, H. and Goel, V. (2020) 'Sustainability assessment of hydropower projects', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 265, p. 121661. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121661.

Nian, V. (2017) 'The prospects of small modular reactors in Southeast Asia', *Progress in Nuclear Energy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, ENGLAND: PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD, 98, pp. 131–142. doi: 10.1016/j.pnucene.2017.03.010.

Nina, A. M. (2020) *A diplomacia brasileira e a segurança energética nacional*. Brasília: FUNAG - Fundação Alexandre de Gusmão, Ministério das Relações Exteriores (MRE). Disponível em: www.funag.gov.br.

Nogueira, L. P. P. *et al.* (2014) 'Will thermal power plants with CCS play a role in Brazil's future electric power generation?', *International Journal of Greenhouse Gas Control*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND: ELSEVIER SCI LTD, 24, pp. 115–123. doi: 10.1016/j.ijggc.2014.03.002.

Nouri, N. *et al.* (2019) 'Water withdrawal and consumption reduction for electrical energy generation systems', *Applied Energy*. Elsevier, 248, pp. 196–206. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.04.023.

OE (2016) *Consórcio assina memorando sobre a UHE Guajará-Mirim*, *Revista O Empreiteiro - Portal de Informações sobre Infraestrutura, Construção Industrial e Edificações*. Disponível em: <https://revistaoe.com.br/consorcio-assina-memorando/> (Accessed: 2 June 2021).

OECD/IEA (2012) *Technology Roadmap. Hydropower*, OECD/IEA. Paris. doi: 10.1007/SpringerReference_7300.

Ojijagwo, E., Oduoza, C. F. and Emekwuru, N. (2016) 'Economics of gas to wire

technology applied in gas flare management', *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(4), pp. 2109–2118. doi: 10.1016/j.jestch.2016.09.012.

OLADE (2017) *Organización Latinoamericana de Energía, Acerca de OLADE*. Disponível em: <http://www.olade.org/> (Accessed: 16 March 2017).

OLADE (2018) *Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2018*. Primera Ed. Quito: Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

OLADE (2020a) *Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2020*. Edited by Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Quito: Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Disponível em: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0456b.pdf>.

OLADE (2020b) *Procesos competitivos para el financiamiento de proyectos de energías renovables*. Quito. Disponível em: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0441.pdf>.

Oliveira da Silva, V. et al. (2021) 'Challenges and Uncertainties of Sustainable Development in Electrical Planning: A Brazilian Approach', *ENERLAC. Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe*, 5(1), pp. 50–75. Disponível em: <http://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/152>.

ONS (2017) *Brazilian National System Operator: Summary of the monthly calculation - August 2017*. 1st edn. Brasília.

ONS (2021a) *Dados hidrológicos / Vazões, Resultados da Operação - Histórico da Operação*. Disponível em: http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados_hidrologicos_vazoes.aspx (Accessed: 10 November 2021).

ONS (2021b) *Indicadores de desempenho do SIN agosto de 2021*. Agosto de 2021. Brasília. Disponível em: http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Relatorio_Indicadores_2021_agosto.pdf.

ONS (2021c) *Mapa dinâmico do SIN, SINDAT - Slistema de Informações Geográficas Cadastrais do SIN*. Brasília. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-oin-sin/mapas> (Accessed: 20 August 2021).

ONU (2020) *Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>.

Oviedo, E. (2021) *Valoración de la cooperación Sur-Sur en seis países seleccionados de América Latina y el Caribe: desafíos compartidos en la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. (LC/TS.2021/121). Santiago de Chile. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43405/7/S1800082_es.pdf.

Oxilia, V. (2009) *Raízes Socioeconômicas da Integração Energética na América do Sul: análise dos projetos Itaipu Binacional, Gasbol e Gasandes*. Tese de Doutorado (Programa de Pós Graduação em Energia) EP, FEA, IEE e IF da Universidade de São

Paulo.

Oxilia, V. *et al.* (2017) 'Scaling up energy integration in South America based on lessons learned from binational hydropower plants', *2017 IEEE Urucon*, (March), pp. 1–4. doi: 10.1109/URUCON.2017.8171880.

Paes, C. E. *et al.* (2019) 'Anexo C do Tratado de Itaipu – revisão das bases financeiras da tarifa de suprimento de energia', *Boletim de Conjuntura do Setor Energético*, pp. 27–32. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/publicacao/boletim-de-conjuntura-abril2019>.

Palmer-Wilson, K. *et al.* (2019) 'Impact of land requirements on electricity system decarbonisation pathways', *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 129(August 2018), pp. 193–205. doi: 10.1016/j.enpol.2019.01.071.

Pappis, I. *et al.* (2021) 'Implications to the electricity system of Paraguay of different demand scenarios and export prices to Brazil', *Energy Systems*. TIERGARTENSTRASSE 17, D-69121 HEIDELBERG, GERMANY: SPRINGER HEIDELBERG. doi: 10.1007/s12667-020-00420-w.

Pattanapongchai, A. and Limmeechokchai, B. (2015) 'Alternative Energy Technologies for Long-term Power Generation Expansion Planning and CO 2 Mitigation in Thailand', *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*. 530 WALNUT STREET, STE 850, PHILADELPHIA, PA 19106 USA: TAYLOR & FRANCIS INC, 10(3), pp. 271–280. doi: 10.1080/15567249.2010.545795.

Paula, R. V. de *et al.* (2020) 'Determination of theoretical performance in wind and photovoltaic systems in the area of influence of a hydroelectric plant [Determinação de desempenho teórico em sistemas eólicos e fotovoltaicos na área de influência de usina hidroelétrica]', in Gimenes, A. L. V. *et al.* (eds) *Armazenamento de energia: abordagens sistemáticas referentes aos sistemas elétricos de potência*. 1st edn. São Paulo: Paco Editorial, p. 17. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347247793_Determinacao_de_desempenho_teorico_em_sistemas_eolicos_e_fotovoltaicos_na_area_de_influencia_de_usina_hidroelétrica.

Petrobras (2018) 'Sustentabilidade 2018', *Relatório Anual de Sustentabilidade Petrobras*. Rio de Janeiro: Petrobras, p. 91. Disponível em: <http://ieeauthorcenter.ieee.org/wp-content/uploads/IEEE-Reference-Guide.pdf><http://wwwlib.murdoch.edu.au/find/citation/ieee.html><https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.022><https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper><https://tore.tuhh.de/hand>.

Petrobras (2021) *Rota 1, Comunicação Bacia de Santos*. Disponível em: <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/empreendimento/etapa-1> (Accessed: 7 June 2021).

PETROCARIBE (2007) *Estatuto Petrocaribe*. Disponível em: <http://www.mem.gob.ve/petrocaribe/index.php> (Accessed: 20 January 2017).

Peyerl, D. (2021) 'Tecnologias disponíveis para mitigação dos efeitos adversos sobre o meio ambiente: das primeiras renováveis à economia do hidrogênio', in Pimentel, C. and Rolim, M. J. C. P. (eds) *Caminhos Jurídicos e regulatórios para a descarbonização no Brasil*. Belo Horizonte: Forum, pp. 119–131.

PIER and WPRI (2002) *Comparison of Alternate Cooling Technologies for California Power Plants: Economic, Environmental and Other Tradeoffs*, *Epri Technical Report*. 500-02-079F. Sacramento. Disponível em: <https://www3.epa.gov/region1/npdes/merrimackstation/pdfs/ar/AR-1167.pdf>.

Pino, B. A. and Leite, I. C. (2009) 'O Brasil e a Cooperação Sul-Sul: Contribuições e Desafios', *Meridiano 47 - Boletim de Análise de Conjuntura em Relações Internacionais*, 47(113), pp. 17–18. doi: 10.20889/495.

Pnud (2013) *Relatório do Desenvolvimento Humano 2013, Resumo Relatório do Desenvolvimento Humano 2013*. Disponível em: <http://origin-hdr.undp.org/en/media/HDR13 Summary PT WEB.pdf>.

Pocock, J., Steckler, C. and Hanzalova, B. (2016) 'Improving Socially Sustainable Design and Construction in Developing Countries', *Procedia Engineering*, 145, pp. 288–295. doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.076.

Prina, M. G. *et al.* (2019) 'Transition pathways optimization methodology through EnergyPLAN software for long-term energy planning', *Applied Energy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND: ELSEVIER SCI LTD, 235, pp. 356–368. doi: 10.1016/j.apenergy.2018.10.099.

PSR (2018) *Benefícios Económicos de Interconexiones Eléctricas Regionales en Sudamérica*. Rio de Janeiro.

Qiu, H. H. and Liu, L. G. (2018) 'A study on the evolution of carbon capture and storage technology based on knowledge mapping', *Energies*, 11(5), pp. 1–25. doi: 10.3390/en11051103.

Qualis (2021) *Plataforma Sucupira, Pesquisa - Classificações dos veículos informados no Coleta pelos Programas de Pós-Graduação*. Disponível em: <https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/> (Accessed: 20 March 2021).

Quijano H, R., Botero B, S. and Domínguez B, J. (2012) 'MODERGIS application: Integrated simulation platform to promote and develop renewable sustainable energy plans, Colombian case study', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, ENGLAND: PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD, 16(7), pp. 5176–5187. doi: 10.1016/j.rser.2012.05.006.

Rameli, A. V. (2017) 'Interconexión Eléctrica Colombia - Panamá', *Revista CIER sin fronteras para la energía*, pp. 111–116. Disponível em: <http://www.cocier.org/index.php/pt/noticias-de-cocier/revista-cier/612-revista-cier-no-74>.

Ramos, D. S. *et al.* (2020) 'Matriz Elétrica Brasileira', in *Planejamento Energético*:

Inserção da variável ambiental na expansão da oferta de energia elétrica. 1st edn. Rio de Janeiro: Synergia, pp. 1–12.

Ramos, R. A. V. and Silva, J. B. C. (2009) ‘Turbinas Hidráulicas’, in *Máquinas Hidráulicas e Térmicas*. 1st edn. Ilha Solteira: Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista (UNESP), p. 27. Disponível em: <http://www.dem.feis.unesp.br/intranet/capitulo8.pdf>.

Rampidis, I. M., Giannakopoulos, D. and Bergeles, G. C. (2010) ‘Insight into the Greek electric sector and energy planning with mature technologies and fuel diversification’, *Energy Policy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND: ELSEVIER SCI LTD, 38(8), pp. 4076–4088. doi: 10.1016/j.enpol.2010.03.034.

Raúl Cubillo Betancourt (2017) ‘Interconexión Eléctrica Ecuador - Colombia’, *Revista CIER sin fronteras para la energía*, pp. 100–107. Disponível em: <http://www.cocier.org/index.php/pt/noticias-de-cocier/revista-cier/612-revista-cier-no-74>.

Ravillard, P. et al. (2021) *Implications of the Energy Transition on Employment Today’s Results, Tomorrow’s Needs*. IDB-TN-02338. Washington. Disponível em: <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Implications-of-the-Energy-Transition-on-Employment-Todays-Results-Tomorrows-Needs.pdf>.

Reggiani, M. C. D. M. (2018) *El transporte de gas natural en Argentina: análisis de la ruptura contractual y sus alcances*. Universidad Nacional del Sur. Disponível em: [https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/4556/Tesis - De Meio.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/4556/Tesis_De_Meio.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Rehman, S. et al. (2017) ‘An Integrated Modeling Approach for Forecasting Long-Term Energy Demand in Pakistan’, *Energies*. ST ALBAN-ANLAGE 66, CH-4052 BASEL, SWITZERLAND: MDPI, 10(11), p. 1868. doi: 10.3390/en10111868.

Reis, A. G. dos (2014) *A arquitetura da integração energética sul-americana, a participação brasileira e a geoenergia humana*. Universidade de São Paulo. doi: 10.11606/D.3.2014.tde-29042015-171359.

Reis, J. F. G. and Souza, J. L. C. de (2016) ‘Grandes projetos na Amazônia: A hidrelétrica de Belo Monte e seus efeitos na segurança pública’, *DILEMAS: Revista de Estudos de Conflito e Controle Social*, 9(2), pp. 215–230. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/dilemas/article/download/7730/6383>.

Relva, S. G. et al. (2015) ‘Solar energy analysis supported on hydropower modelling for taking advantage of photovoltaic power plants’, in *2015 5th International Youth Conference on Energy (IYCE)*. Pisa: IEEE, pp. 1–8. doi: 10.1109/IYCE.2015.7180814.

Relva, Stefania Gomes, Abubakar, A., et al. (2020) ‘c-Si and thin film photovoltaic penetration scenarios in Kano State - Nigeria’, in *37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*. Lisbon, pp. 2078–2084. doi: 10.4229/EUPVSEC20202020-7DV.1.30.

Relva, S. G. *et al.* (2020) 'Regulating the electro-energetic use of natural gas by gas-to-wire offshore technology: Case study from Brazil', *Utilities Policy*, 66, p. 101085. doi: 10.1016/j.jup.2020.101085.

Relva, Stefania Gomes, Gimenes, A. L. V., *et al.* (2020) 'Transmittance index characterization at two solar measurement stations in Brazil', *Theoretical and Applied Climatology*. Springer Vienna, 139(1–2), pp. 205–219. doi: 10.1007/s00704-019-02941-6.

Relva, S. G. *et al.* (2021) 'Enhancing developing countries' transition to a low-carbon electricity sector', *Energy*, 220, p. 119659. doi: 10.1016/j.energy.2020.119659.

Relva, S. G. (2022) *Mapeamento Energoambiental – modelo de apoio ao planejamento eletroenergético no contexto do Planejamento Integrado de Recursos Energéticos*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Repsold, C. B. (2019) 'Dificuldades jurídicas, econômicas e políticas na integração energética dos países da América do Sul', *Boletim de Conjuntura do Setor Energético*, pp. 13–16. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/publicacao/boletim-de-conjuntura-abril2019>.

Rigolin, P. H. da C. (2013) *Desenvolvimento de um sistema para classificar recursos energéticos de oferta e demanda com base no computador e na valoração do potencial completo dos recursos energéticos dentro do planejamento integrado de recursos*. Universidade de São Paulo. doi: 10.11606/T.3.2013.tde-09072014-111702.

Rodrigues, L. A. (2012) *Análise Institucional e Regulatória da Integração de Energia Elétrica Entre o Brasil e os Demais Membros do MERCOSUL*. Programa de Pós-Graduação em Energia – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo. doi: 10.11606/D.86.2012.tde-19042012-132609.

Rodrigues, M. (2012) 'Jirau avança e já impõe transformações profundas na região de influência do canteiro de obras, no estado de Rondônia', *Grandes Construções - Construção, Infraestrutura e Sustentabilidade*, July, pp. 22–33. Disponível em: https://www.grandesconstrucoes.com.br/Arquivos/Edicoes/GC_28.pdf.

Ross, J. L. S. *et al.* (2019) 'Macroformas do Relevo da América do Sul', *Geography Department University of Sao Paulo*, 38, pp. 58–69. doi: 10.11606/rdg.v38i1.158561.

Rout, Ullash K *et al.* (2011) 'Energy and emissions forecast of China over a long-time horizon', *ENERGY. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, ENGLAND: PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD*, 36(1), pp. 1–11. doi: 10.1016/j.energy.2010.10.050.

Rout, Ullash K. *et al.* (2011) 'Energy and emissions forecast of China over a long-time horizon', *Energy*, 36(1), pp. 1–11. doi: 10.1016/j.energy.2010.10.050.

La Rovere, E. L., Legey, L. F. L. and Miguez, J. D. G. (1994) 'Alternative energy strategies for abatement of carbon emissions in Brazil A cost-benefit analysis', *Energy Policy*. LINACRE HOUSE JORDAN HILL, OXFORD, OXON, ENGLAND OX2 8DP: BUTTERWORTH-HEINEMANN LTD, 22(11), pp. 914–924. doi: 10.1016/0301-

4215(94)90039-6.

Sánchez Úbeda, E. F. *et al.* (2021) *Impacto del COVID-19 en la demanda de energía eléctrica en Latinoamérica y el Caribe*. Washington, D.C.: Inter-American Development Bank. doi: 10.18235/0003379.

Santos, T. (2015) 'Energy Security in MERCOSUR+2: challenges and opportunities', *Oikos: Revista de Economía Política Internacional*, 14(1), pp. 5–18.

Santos, T. dos (2014) *Integração Energética da América do Sul: desdobramentos do desenvolvimento institucional*. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.funag.gov.br/ipri/btd/index.php/10-dissertacoes/3575-integracao-energetica-da-america-do-sul-desdobramentos-do-desenvolvimento-institucional>.

Savian, F. S., Minuzzi, M. S. and Siluk, J. C. M. (2019) 'Research , development and innovation management in the energy sector', *Advances in Energy Research*, 6(1), pp. 17–33.

Schaubroeck, T. *et al.* (2015) 'Environmental sustainability of an energy self-sufficient sewage treatment plant: Improvements through DEMON and co-digestion', *Water Research*, 74, pp. 166–179. doi: 10.1016/j.watres.2015.02.013.

Scherer, L. and Pfister, S. (2016) 'Hydropower's Biogenic Carbon Footprint', *PLOS ONE*. Edited by J. P. Kropp, 11(9), p. e0161947. doi: 10.1371/journal.pone.0161947.

Senado Federal (1992) *Conferência Rio-92 sobre o meio ambiente do planeta: desenvolvimento sustentável dos países, Em Debate*. Disponível em: <https://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/rio20/a-rio20/conferencia-rio-92-sobre-o-meio-ambiente-do-planeta-desenvolvimento-sustentavel-dos-paises.aspx>.

Shahsavari, A. and Akbari, M. (2018) 'Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 90, pp. 275–291. doi: 10.1016/j.rser.2018.03.065.

SieLAC (2021) *Evolución de los indicadores económico - energéticos, Sistema de Información Energética de Latinoamérica y el Caribe*. Quito. Disponível em: <http://sier.olade.org/WebForms/Reportes/InfogramaEvolucionIndicadoresEconomicoEnergeticos.aspx?or=602&ss=2&v=3> (Accessed: 19 October 2021).

Siemens (2017) *We power the world with innovative gas turbines, Siemens gas turbine portfolio*. Germany. Disponível em: <http://www.energy.siemens.com/us/pool/hq/power-generation/gas-turbines/downloads/gas-turbines-siemens.pdf>.

Siemens Energy (2020) *Floating Power Plants*. PGSO-T10001-00-7600. Munique. Disponível em: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/seafloat.html>.

Silva, L. da (2016) *A integração energética na América do Sul: uma análise da formação de preferências do Brasil por acordos bilaterais*. Programa de Pós-Graduação em Energia

– Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. doi: 10.11606/D.106.2017.tde-23012017-133158.

Silva, V. O. da *et al.* (2015) ‘Marcos Supranacionales de la Integración Energética en América del Sur’, in *V Encuentro Latinoamericano de Economía de la Energía, 2015*. Medellín: ELLAEE, pp. 1–18. doi: 10.13140/RG.2.1.4085.9047.

Silva, V. O. da *et al.* (2018) ‘Cross-Boundary Energy-Resources Assessment for an Integrated Sources Harnessing and Sustainable Development’, *Energy and Earth Science*, 1(1), p. 18. doi: 10.22158/ees.v1n1p18.

Silva, V. O. da *et al.* (2020a) ‘Brazilian gas Market regulation: thermoelectric use and use of pre-salt gas’, in Santos, E. M. dos, Peyerl, D., and Abreu Netto, A. L. (eds) *Opportunities and Challenges of Natural Gas and Liquefied Natural Gas in Brazil*. 1st edn. Rio de Janeiro: Letra Capital, pp. 37–59. Disponível em: https://www.rcgi.poli.usp.br/wp-content/uploads/2021/01/978-65-87594-44-6_Opportunities-and-Challenges-of-Natural-Gas_1611849827_1.pdf?x44813.

Silva, V. O. da *et al.* (2020b) ‘Regulação do mercado de gás no Brasil: o uso termoelétrico e o aproveitamento do gás do pré-sal’, in Santos, E. M. dos, Peyerl, D., and Abreu Netto, A. L. (eds) *Oportunidades e Desafios do Gás Natural e do Gás Natural Liquefeito no Brasil*. 1st edn. Rio de Janeiro: Letra Capital, pp. 39–62. Disponível em: https://www.rcgi.poli.usp.br/wp-content/uploads/2021/01/978-65-87594-45-3_Oportunidades-e-Desafios-do-Gas-Natural_1611849724_1.pdf?x44813.

Silva, V. O. da *et al.* (2022) ‘Power Generation from Offshore Natural Gas: Building Options for the Brazilian Pre-salt’, *Energy*, pp. 1–12.

Da Silva, V. O. *et al.* (2022) ‘Impacts of Transmission Lines on Tropical Forests – Assessment of the Sociocultural and Environmental Aspects’, in *2022 6th International Conference on Green Energy and Applications (ICGEA)*. IEEE, pp. 226–232. doi: 10.1109/ICGEA54406.2022.9791908.

Simsek, Y. *et al.* (2019) ‘Review and assessment of energy policy developments in Chile’, *Energy Policy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND: ELSEVIER SCI LTD, 127, pp. 87–101. doi: 10.1016/j.enpol.2018.11.058.

Soares, I. M. (2017) *Usina Hidrelétrica a Fio D’Água Ou Reservatório? Subsídios À Tomada De Decisão Por Meio De Análise Custo-Efetividade*. Universidade de Brasília. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/25259/1/2017_IgorMatosSoares.pdf.

Soares, V. R. (2009) *Impactos sociais causados pela construção de hidrelétricas em populações ribeirinhas na zona da mata mineira: o caso específico da Usina*. Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Disponível em: <https://www.ufjf.br/graduacaocienciasociais/files/2010/11/IMPACTOS-SOCIAIS-CAUSADOS-PELA-CONSTRUÇÃO-DE-HIDRELÉTRICAS-EM-POPULAÇÕES-RIBEIRINHAS-NA-ZONA-DA-MATA-MINEIRA-Vânia-Ribeiro-Soares.pdf>.

Souza, F. N. de (2021) *Análise de acidentes relacionados ao transporte e*

armazenamento de Nitrato de Amônio. University of São Paulo.

Spinola, C. de A. (2013) 'Parques nacionais, conservação da natureza e inserção social: uma realidade possível em quatro exemplos de cogestão', *Turismo - Visão e Ação*, 15(01), pp. 71–83. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2610/261056069006.pdf>.

Statista (2021) *The ten largest river drainage basins on the Earth as of 2021*, *Geography & Nature*. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1221316/ten-largest-river-basin-worldwide/> (Accessed: 15 December 2021).

STF (2007) *Art. 176 Controle concentrado de constitucionalidade, Supremo Tribunal Federal - A Constituição e o Supremo*. Disponível em: <http://www.stf.jus.br/portal/constituicao/artigoBd.asp?item=1699>.

T., Tomazini, M. *et al.* (2021) 'Use of Design Thinking by the Regulator in the process of applying Public Hearings in the electricity sector.', *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 8(7), pp. 312–322. doi: 10.22161/ijaers.87.34.

Taseska-Gjorgievska, V. *et al.* (2013) 'Assessment of the impact of renewable energy and energy efficiency policies on the Macedonian energy sector development', *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. 1305 WALT WHITMAN RD, STE 300, MELVILLE, NY 11747-4501 USA: AMER INST PHYSICS, 5(4), p. 041814. doi: 10.1063/1.4813401.

TBG (2016) *Shareholding composition*. Disponível em: www.tbg.com.

TBS (2016) 'Fluxos Físicos do Gás Natural'. Porto Alegre: Transportadora Sulbrasileira de Gás S.A., p. 06. Disponível em: https://www.tsb.com.br/Docs/fluxo_fisico.pdf.

TBS (2018) *Características*. Porto Alegre. Disponível em: <https://www.tsb.com.br/Biblioteca/bibArq000438.pdf>.

Tembo, B. and Merven, B. (2013) 'Policy options for the sustainable development of Zambia's electricity sector', *Journal of Energy in Southern Africa*. LIBRARY RD, MENZIES BLDG, 6TH FLR ROOM 6 41 PRIVATE BAG X3, RONDEBOSCH, CAPE TOWN, WESTERN CAPE 7701, SOUTH AFRICA: UNIV CAPE TOWN, ENERGY RES CENTRE, 24(2), pp. 16–27. doi: 10.17159/2413-3051/2013/v24i2a3126.

Thangavelu, S. R., Khambadkone, A. M. and Karimi, I. A. (2015) 'Long-term optimal energy mix planning towards high energy security and low GHG emission', *Applied Energy*. THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND: ELSEVIER SCI LTD, 154, pp. 959–969. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.05.087.

The Bank Information Center (2009) *Hidroeléctrica de Cachuela Esperanza*. Disponível em: <https://funsolon.files.wordpress.com/2019/02/sin-autor.-2011.-hidroelc3a9ctrica-de-cachuela-esperanza.pdf>.

The World Bank (2018) *The World Bank Data*. Washington. Disponível em: <https://data.worldbank.org/country/brazil?view=chart> (Accessed: 10 May 2018).

Thomas, S. and Dawe, R. A. (2003) 'Review of ways to transport natural gas energy from countries which do not need the gas for domestic use', *Energy*, 28(14), pp. 1461–1477. doi: 10.1016/S0360-5442(03)00124-5.

Tolmasquim, M. T. and Szklo, A. S. (2000) *A Matriz Energética Brasileira na Virada do Milênio*. 1st edn. Rio de Janeiro: ENERGE - COPPE/UFRJ. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/livros/295-a-matriz-energetica-brasileira-na-virada-do-milenio>.

U.S. DOE (2019) *How Gas Turbine Power Plants Work*, Office of Fossil Energy and Carbon Management. Disponível em: <https://www.energy.gov/fe/how-gas-turbine-power-plants-work> (Accessed: 21 July 2019).

Ubierna, M., Alberti, J. and Alarcón, A. D. (2020) *Modernización de centrales hidroeléctricas en América Latina y el Caribe: Identificación y priorización de necesidades de inversión*. Washington, D.C. doi: 10.18235/0002958.

Udaeta, M. E. M. (1997) *Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR - para o setor elétrico (pensando o desenvolvimento sustentável)*. Universidade de São Paulo. doi: 10.11606/T.3.1997.tde-09082001-113018.

Udaeta, M. E. M. *et al.* (2006) 'Ponderação analítica para da integração energética na América do Sul', *Revista Brasileira de Energia*, 12(12), pp. 1–19. Disponível em: [file:///C:/Users/vinic/Dropbox/GEPEA \(1\)/Doutorado/TESE/Material/Catalogado/194-Texto do artigo-177-1-10-20180308.pdf](file:///C:/Users/vinic/Dropbox/GEPEA%20(1)/Doutorado/TESE/Material/Catalogado/194-Texto%20do%20artigo-177-1-10-20180308.pdf).

Udaeta, M. E. M. (2012) *Novos instrumentos de planejamento energético e o desenvolvimento sustentável - Planejamento Integrado de Recursos energéticos na USP*. Universidade de São Paulo. doi: 10.11606/T.3.2014.tde-05052014-125907.

Udaeta, M. E. M. *et al.* (2015) 'Energy Integration in South America Region and the Energy Sustainability of the Nations', *Energy and Power Engineering*, 07(05), pp. 161–173. doi: 10.4236/epe.2015.75016.

Udaeta, M. E. M. *et al.* (2016) 'Full assessment energy-sources for inclusive energy-resources planning', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 66, pp. 190–206. doi: 10.1016/j.rser.2016.07.008.

Udaeta, M. E. M. *et al.* (2017) 'Analysis of Energy Integration and the Transboundary Superstructure in South America', *Journal of Business and Economics*, 7(1), pp. 21–43. doi: 10.15341/jbe(2155-7950)/01.07.2015/003.

Udaeta, M. E. M. *et al.* (2019) 'Basic and procedural requirements for energy potential from biogas of sewage treatment plants', *Journal of Environmental Management*, 236, pp. 380–387. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.12.110.

Udaeta, M. E. M. and Silva, V. O. da (2017) 'PEA5899', p. 60.

UN (2015) *Adoption of the Paris agreement, 21st Conference of the Parties*. Paris. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>.

UNASUL (2016) *União das Nações Sul-Americanas*. Disponível em:

<http://www.unasursg.org>.

UNDP (2013) *Human Development Report 2013 - The Rise of the South: Human Progress in a Diverse World*. New York: Published for the United Nations Development Programme (UNDP).

UNDP (2016) *Human Development Report 2016: Human Development for Everyone*. New York. Disponível em: http://hdr.undp.org/sites/default/files/2016_human_development_report.pdf.

UNDP (2020) *Human Development Report 2020 - The Next Frontier: Human Development and the Anthropocene*. New York. Disponível em: http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2020_pt.pdf.

UNFCCC (1997) *What is the Kyoto Protocol?, United Nations Framework Convention on Climate Change*. Disponível em: https://unfccc.int/kyoto_protocol.

UNFCCC (2020) *The Paris Agreement and NDCs, Nationally Determined Contributions (NDCs)*. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/nationally-determined-contributions-ndcs#:~:text=NDCs embody efforts by each,that it intends to achieve>.

United Nations (1992) *Agenda 21*. Rio de Janeiro. doi: 10.4135/9781412971867.n128.

United Nations (2015) *Transforming our world: The 2030 Agenda for sustainable development*. A/RES/70/1. New York. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030> Agenda for Sustainable Development web.pdf.

USEPA (2017) *AgSTAR: Biogas Recovery in the Agriculture Sector, United States Environmental Protection Agency*. Disponível em: <https://www.epa.gov/agstar> (Accessed: 10 June 2018).

Valverde, A. L. L. (2017) *Sistematização de experiências de integração energética na América Latina a partir de categorias da Teoria Marxista da dependência*. Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. doi: 10.11606/D.106.2017.tde-23112017-172438.

Vásquez, W. (2018) *Bolivia posee el 80% de la red de transmisión, CIS BOLIVIA*. Disponível em: <https://www.cis.gob.bo/bolivia-posee-80-la-red-transmision/#:~:text=Electricidad.&text=El Estado es “dueño del,eléctrico que vivió el país”>. (Accessed: 2 July 2021).

Vera-Diaz, M. D. C. et al. (2007) *Effects of Energy and Transportation Projects on Soybean Expansion in the Madeira River Basin*. Lagoa Santa. Disponível em: http://conservation-strategy.org/files/Madeira_soy_final_draft2.pdf.

Villazón, C. B. et al. (2017) 'Analysis of regulatory elements of Energy Integration considering the Diffused Law', *Revista Espacios*, 38(36), p. 14. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n36/a17v38n36p14.pdf>.

Viscidi, L. and Yépez-García, A. (2020) *Clean Energy Auctions in Latin America*. Washington: Inter-American Development Bank (IADB). doi: 10.18235/0002133.

Viscondi, G. de F. *et al.* (2016) *Uso de água em termoelétricas*. São Paulo. Disponível em: http://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2016/01/IEMA-AGUA_vFinal_1.pdf.

Viscondi, G. de F., Silva, A. F. and Cunha, K. B. (2016) *Geração termoelétrica e emissões atmosféricas: poluentes e sistemas de controle*. São Paulo. Disponível em: <https://iema-site-staging.s3.amazonaws.com/IEMA-EMISSOES.pdf>.

Waller Marine, I. (no date) *Floating Power*. Disponível em: <https://www.wallermarine.com/floating-power> (Accessed: 7 January 2019).

Watts, D. and Martinez, V. (2012) 'Long-Run Energy and Emissions Modeling in Chile: Scenario Assessment using MESSAGE', *IEEE Latin America Transactions*. 445 HOES LANE, PISCATAWAY, NJ 08855-4141 USA: IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC, 10(2), pp. 1525–1536. doi: 10.1109/TLA.2012.6187596.

WB (2014) *Brazil - World Bank Country Survey 2013*. Washington. Disponível em: <http://microdata.worldbank.org/index.php/catalog/1891>.

WB (2021) *El Grupo Banco Mundial y la COVID-19 (coronavirus), Banco Mundial en América Latina y el Caribe*. Disponível em: <https://www.bancomundial.org/es/region/lac/coronavirus>.

WEC (2004) *Eficiência Energética: uma análise mundial*. Rio de Janeiro.

WHO (2021) *Coronavirus, Coronavirus disease (COVID-19)*. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019> (Accessed: 20 March 2021).

Windén, B. *et al.* (2014) 'Investigation of offshore thermal power plant with carbon capture as an alternative to carbon dioxide transport', *Ocean Engineering*. Elsevier, 76, pp. 152–162. doi: 10.1016/j.oceaneng.2013.07.016.

WOS (2020a) *Principal Coleção do Web of Science Ajuda*. Disponível em: https://images.webofknowledge.com/WOKRS535R111/help/pt_BR/WOS/hs_search_operators.html.

WOS (2020b) *Web of Science*. Disponível em: https://apps.webofknowledge.com/WOS_AdvancedSearch_input.do?product=WOS&SID=7EYMMfKbkyXSoaBPBkG&search_mode=AdvancedSearch.

WWF (2011) *Company withdraws from hydroelectric megaproject in Peru's central Amazon, OUR NEWS*. Disponível em: <https://www.wwf.org.pe/en/?202604/companywithdrawsfromhydroelectricmegaprojectinperuscentralamazon> (Accessed: 30 July 2021).

WWF (2014) *Hydroelectric power plants can flood national park in the Amazon Region, OUR NEWS*. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?40082/Hydroelectric-power-plants-can-flood-national-park-in-the-Amazon-Region> (Accessed: 30 July 2021).

- Wyborn, C. *et al.* (2018) 'Understanding the Impacts of Research Synthesis', *Environmental Science & Policy*, 86, pp. 72–84. doi: 10.1016/j.envsci.2018.04.013.
- Xu, M. and Lin, B. (2020) 'Exploring the “not in my backyard” effect in the construction of waste incineration power plants - based on a survey in metropolises of China', *Environmental Impact Assessment Review*, 82, p. 106377. doi: 10.1016/j.eiar.2020.106377.
- Yang, L. *et al.* (2020) 'Whether CCS technologies will exacerbate the water crisis in China? —A full life-cycle analysis', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 134(September), p. 110374. doi: 10.1016/j.rser.2020.110374.
- Yu, D. and Xu, C. (2017) 'Mapping research on carbon emissions trading: a co-citation analysis', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, pp. 1314–1322. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.144.
- Yu, Z. *et al.* (2010) 'A decision tree method for building energy demand modeling', *Energy and Buildings*, 42(10), pp. 1637–1646. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.04.006.
- Zapata, J. (2017) 'Interconexión Eléctrica Colombia - Venezuela', *Revista CIER sin fronteras para la energía*, pp. 108–110. Disponible em: <http://www.cocier.org/index.php/pt/noticias-de-cocier/revista-cier/612-revista-cier-no-74>.
- ZEP (2011) *The Costs of CO₂ Capture, Transport and Storage: Post-demonstration CCS in the EU*. Brussels. Disponible em: <http://www.zeroemissionsplatform.eu/library/publication/165-zep-cost-report-summary.html>.
- Zhou, W. *et al.* (2018) 'A retrospective analysis with bibliometric of energy security in 2000–2017', *Energy Reports*, 4, pp. 724–732. doi: 10.1016/j.egyr.2018.10.012.

APÊNDICE A

A AS, ver Figura 24, é um subcontinente que compreende a porção meridional da América. Sua superfície corresponde a 17,819 MMkm², representando 13,7% da superfície terrestre. Seus limites naturais são o mar do Caribe ao norte; à leste, nordeste e sudeste o oceano Atlântico; e à oeste do oceano Pacífico. Concentra uma população de aproximadamente 407 milhões de habitantes, 6% da população mundial, no qual 84% vivem em áreas urbanas e 16% em áreas rurais, com densidade demográfica 22,8 habitantes por km², PIB de USD 4,368 bilhões, aproximadamente 6% do PIB mundial e IDH de 0,740, que segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) é um alto índice de desenvolvimento humano (Pnud, 2013; WB, 2014; The World Bank, 2018).



Figura 24. Projeção da América do Sul.
Fonte: Silva et al (2015).

O relevo da AS, ver Figura 25, possui novas megaestruturas e macroformas representadas por extensa cadeia orogenéticas (Cordilheira dos Andes), amplas depressões interiores e planícies como da Depressão Central Sul-americana e por Planaltos e Serras (Ross *et al.*, 2019).



Figura 25. Macroformas do relevo da AS.

Fonte: Ross et al (2019).

As unidades de conservação e terras indígenas estão presentes em toda região e algumas com abrangência multinacional como o Parque Nacional da Serra do Divisor, entre Brasil e Peru, o Parque Nacional do Monte Roraima e Reserva Yanomami, entre Brasil e Venezuela, o Parque Nacional do Iguazu, entre Argentina, Brasil e Paraguai (FUNAI, 2020; ICEMBio, 2021; MINEM, 2021).

A oeste da fronteira brasileira está a Depressão Central Sul-americana – formação mais antiga da região e parte do mesmo contexto geotectônico da Cordilheira Andina. Essa depressão possui altitudes modestas (máximo de 250 m) e se estende desde a Venezuela, bacia hidrográfica do rio Orinoco, abrangendo o alto Solimões, na Amazônia Ocidental, a alta bacia dos rios Beni-Mamoré-Guaporé, as bacias do rio Paraguai e do baixo rio Paraná-Prata (Ross *et al.*, 2019).

Ao norte da fronteira está o Cránton Amazônico, que abrange desde o sul do Estado de Mato Grosso até a Venezuela, Suriname e Guianas e na sua porção ao norte há relevos mais elevados, com altitudes entre 600 e 800 m e formas residuais que podem ultrapassar os 1.000 m, denominados de Planaltos Residuais Norte e Sul Amazônicos (Ross *et al.*, 2019).

APÊNDICE B

A UTE Uruguaiana possui CI de 640 MW (EPE, 2020b; ANEEL, 2021; DOU, 2021; ONS, 2021c) e geração estimada (*Eg*) de 4.765 GWh/ano. As duas GT e a ST tem potência (Pot) de 215 MW cada (Siemens, 2017). A origem do GN utilizado é da Argentina, sendo transportado através do gasoduto Trecho 1 – Uruguaiana/RS, com extensão (Ext) de 480 km, diâmetro (D) de 24” e volume máximo transportado ($Q_{\text{máx}}$) de 2,8 MMm³/dia. A energia produzida é transmitida via LT da UTE à Subestação Alegrete 2 (166 MW) por 130 km a um nível de tensão de 230 kV (ANEEL, 2021; ONS, 2021c), ver Tabela 38.

As UTEs *onshore* e *offshore* possuem as mesmas características técnicas de CI, 930 MW, definida com base em IEA (2015, 2020) e Siemens (2017; 2020), e de *Eg*, 6.925 GWh/ano. As duas GT e a ST têm Pot de 310 MW cada (Siemens, 2017), ver Tabela 38.

A UTE *onshore* é implantada na costa continental e utiliza o GN fornecido pelo gasoduto *offshore* – Rota 1, com Ext de 359 km, D de 24” e $Q_{\text{máx}}$ de 10 MMm³/dia e a energia produzida é transmitida via LT, da UTE à Subestação São José dos Campos (600MW), por 70 km a um nível de tensão de 230 kV (ANEEL, 2021; ONS, 2021c), ver Tabela 38.

A UTE *offshore* é do tipo *floating power plant* (Waller Marine, no date; Siemens Energy, 2020; Silva *et al.*, 2022) com cadeia de produção de energia *gas to wire* ou GtW (Andrei and Sammarco, 2017; Mota, Baleeiro and Cortez, 2019; S. G. Relva *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020a), ou seja, está no oceano vinculada a unidade de E&P *offshore* e dispensa gasoduto de transporte (Thomas and Dawe, 2003; Ojijiagwo, Oduoza and Emekwuru, 2016). Porém, a energia gerada é transmitida via LT de 429 km, um trecho *offshore* de 359 km e um outro *onshore* de 70 km, à Subestação São José dos Campos (600 MW) a um nível de tensão de 230 kV (ANEEL, 2021; ONS, 2021c), ver Tabela 38.

A UTE Mário Covas possui CI de 529 MW (EPE, 2020b; ANEEL, 2021; DOU, 2021; ONS, 2021c) e *Eg* de 3.940 GWh/ano. As duas GT e a ST têm Pot de 187 MW cada (Siemens, 2017). A origem do GN utilizado é da Bolívia, sendo transportado via gasoduto

Lateral-Cuiabá – Cáceres/MS, uma ramificação do GASBOL (EPE, 2019; Gas Ocidente, 2021), com Ext de 284 km, D de 18” e $Q_{\text{máx}}$ 2,4 MMm³/dia. A energia produzida é transmitida via LT da UTE à Subestação Coxipó (1.270 MW) por 6 km a um nível de tensão de 138 kV (ANEEL, 2021; ONS, 2021c), ver Tabela 38.

A UHE Garabi é binacional possui CI de 1.152 MW, E_g de 5.970 GWh/ano, FC de 59%, H de 40 m, área do reservatório de 642 km² (Eletrobras and Ebisa, 2012; Eletrobras, 2021) e 08 turbinas do tipo Kaplan com Pot de 144 MW cada (COSIPLAN, 2021b). A energia produzida é transmitida via LT da UHE à Subestação Garabi I (2304 MW) por 6 km a um nível de tensão de 500 kV (ANEEL, 2021; ONS, 2021c), ver Tabela 39.

A UHE Panambi é binacional possui CI de 1.048 MW, E_g de 5.475 GWh/ano, FC de 60%, H de 40 m e área do reservatório de 327 km² (Eletrobras and Ebisa, 2012; Eletrobras, 2021), ou seja, tem aproximadamente metade do reservatório da UHE Garabi e densidade de potência (D_{pot}) – relação CI por área do reservatório (Demarty and Bastien, 2011) – 78% maior. As suas 07 turbinas são do tipo Kaplan com Pot de 150 MW cada (COSIPLAN, 2021b). A energia produzida é transmitida via LT da UHE à Subestação Garabi I (2304 MW) por 106 km a um nível de tensão de 500 kV (ANEEL, 2021; ONS, 2021c), ver Tabela 39.

A UHE Guajará-Mirim é binacional, pertence ao complexo do Rio Madeira e está a montante da UHE Jirau, tem CI de 3.000 MW (maior entre as UHEs avaliadas), E_g de 17.532 GWh/ano, FC de 67% - média do FC das UHEs do complexo do Madeira -, H de 28 m – calculado com base na diferença entre as contas da jusante da UHE Jirau e montante da UHE *Cachuela Esperanza* (Kelman, 2007; M. Rodrigues, 2012; Jirau Energia, 2021) – e área do reservatório de 356 km² (Kelman, 2007; COSIPLAN, 2021f). Esta UHE tem a maior D_{pot} , 8,43 MW/km², entre todas as unidades avaliadas. As suas 40 turbinas são do tipo Bulbo com rotor Kaplan, mesmo tipo das UHEs Santo Antônio e Jirau (Eletrobras Furnas, 2021; Jirau Energia, 2021), com Pot de 75 MW cada. A construção dessa UHE concebe uma malha hidroviária de 4.200 km na região (Vera-Diaz *et al.*, 2007), reduz em 3.600 milhas náuticas ou 30 USD/ton no transporte de soja para a Ásia (Eletrobras, 2004) e estabiliza o reservatório da UHE Jirau adicionando 280 MW médios a sua geração (M. Rodrigues, 2012; OE, 2016). A energia produzida é transmitida via LT

da UHE à Subestação da UHE Jirau (3.750 MW) por 180 km a um nível de tensão de 750 kV (ANEEL, 2021; ONS, 2021c), ver Tabela 39.

A UHE *Cachuela Esperanza* pertencente ao complexo do Rio Madeira e está a montante da UHE Guajará-Mirim, possui CI de 990 MW, *Eg* de 5.700 GWh/ano, FC de 66%, H de 11 m e área do reservatório de 730 km² (Kelman, 2007; The Bank Information Center, 2009; COSIPLAN, 2021e). Esta UHE tem ao mesmo tempo a menor CI e maior área de reservatório entre as UHEs avaliadas, resultando na menor D_{pot} , 1,36 MW/km². As suas 18 turbinas são do tipo Bulbo com rotor Kaplan com Pot de 55 MW cada. A energia produzida é transmitida via LT da UHE à Subestação da UHE Guajará-Mirim (3.000 MW) por 180 km a um nível de tensão de 230 kV (ANEEL, 2021; ONS, 2021c), ver Tabela 39.

A UHE Inambari é única UHE com reservatório, possui CI de 2.000 MW, *Eg* de 15.593 GWh/ano, FC de 89%, o maior entre as UHEs avaliadas sendo decorrente da existência de reservatório, H de 215 m e área do reservatório de 410 km² (MINEM, 2007, 2021; Udaeta *et al.*, 2017). As suas 09 turbinas tem Pot de 222 MW cada e são do tipo Francis, única UHE com este modelo, o qual é consequência da H e da Q (Ramos and Silva, 2009). A energia produzida é transmitida via LT da UHE à Subestação Rio Branco I (565 MW) por 603 km nível de tensão de 500 kV (ANEEL, 2021; MINEM, 2021; ONS, 2021c), ver Tabela 39.

Tabela 38. Característica específicas das UTEs avaliadas no Estudo de Caso.

Nome	UTE					Tecnologia de conversão – turbina			Gasoduto				Linha de Transmissão – LT			
	Tipo	CI [MW]	Eg [GWh/ano]	FC [%]	Arranjo	Tipo	Nº	Pot. ¹ [MW]	Origem e Gasoduto	Ext. [km]	D [pol]	Q _{máx} [MMm ³ /dia]	Trecho	Ext [km]	Tensão [kV]	Subestação ² [MW]
Uruguiana	CC s/ CCS	640	4.765	85	2x1	GT e ST	03	215	Argentina via Trecho 1	480	24	2,8	UTE à Subestação Alegrete 2	130	230	166
Uruguiana	CC c/ CCS	640	4.765	85	2x1	GT e ST	03	215	Argentina via Trecho 1	480	24	2,8	UTE à Subestação Alegrete 2	130	230	166
Onshore	CC s/ CCS	930	6.925	85	2x1	GT e ST	03	310	Pré-sal via Rota 1	359	24	10	UTE à São José dos Campos	70	230	600
Onshore	CC c/ CCS	930	6.925	85	2x1	GT e ST	03	310	Pré-sal via Rota 1	359	24	10	UTE à São José dos Campos	70	230	600
Offshore	CC s/ CCS	930	6.925	85	2x1	GT e ST	03	310	Pré-sal	-	-	10	UTE à São José dos Campos	429	230	600
Offshore	CC c/ CCS	930	6.925	85	2x1	GT e ST	03	310	Pré-sal	-	-	10	UTE à São José dos Campos	429	230	600
Mario Covas	CC s/ CCS	529	3.940	85	2x1	GT e ST	03	187	Bolívia via Lateral Cuiabá	284	18	2,4	UTE à Subestação Coxipó	6	138	1.270
Mario Covas	CC c/ CCS	529	3.940	85	2x1	GT e ST	03	187	Bolívia – Lateral Cuiabá	284	18	2,4	UTE à Subestação Coxipó	6	138	1.270

¹A somatória da potência das turbinas pode ser superior a CI da UTE, isso se deve ao estudo de caso considerar tecnologias modernas e não as tecnologias implantadas na UTE. Para a questão de cálculo é considerado a CI das UTEs. ² As potências das subestações são as indicadas pela EM (2021c) e não representam a potência necessária para atender a geração do Estudo de Caso.

Fonte: Adaptado de (TBS, 2016, 2018; Siemens, 2017; Coelho, 2019; EPE, 2019; S. G. Relva *et al.*, 2020; ANEEL, 2021; COSIPLAN, 2021d; DOU, 2021; Gas Ocidente, 2021; ONS, 2021c; Petrobras, 2021; Silva *et al.*, 2022).

Tabela 39. Característica específicas das UHEs avaliadas no Estudo de Caso.

Nome	Reservatório		UHE					Tecnologia de conversão – turbina				Linha de Transmissão – LT			
	Tipo	Área [km ²]	CI [MW]	<i>E_g</i> [GWh/ano]	FC [%]	H [m]	Dpot [MW/km ²]	Tipo	Nº	Q [m ³ /s]	Pot. [MW]	Trecho	Ext [km]	Tesão [kV]	Subestação ¹ [MW]
Garabi	Fio d'água	642	1.152	5.970	59	40	1,79	Kaplan	08	688	144	UHE à subestação Garabi I	6	500	2.304
Panambi	Fio d'água	327	1.048	5.475	60	40	3,20	Kaplan	07	786	150	UHE à subestação Garabi I	106	500	2.304
Guajará-Mirim	Fio d'água	356	3.000	17.532	67	28	8,43	Bulbo c/ rotor Kaplan	40	291	75	UHE à subestação UHE Jirau	180	750	3.750
Cachuela Esperanza	Fio d'água	730	990	5.700	66	11	1,36	Bulbo c/ rotor Kaplan	18	564	55	UHE à subestação UHE Guajará-Mirim	180	230	3.000 ²
Inambari	Reserva	410	2.000	15.593	89	215	4,88	Francis	09	95	222	UHE à subestação Rio Branco I	603	500	565

¹ As potências das subestações são as indicadas pela EM (2021c) e não representam a potência necessária para atender a geração do Estudo de Caso. ² A potência da subestação é teórica.

Fonte: Adaptado de (MINEM, 2007, 2021; Kelman, 2007; The Bank Information Center, 2009; Eletrobras and Ebisa, 2012; M. Rodrigues, 2012; MHE, 2014; ANEEL, 2021; COSIPLAN, 2021e; ONS, 2021c; COSIPLAN, 2021b, 2021f; Eletrobras, 2021; Eletrobras Furnas, 2021; Jirau Energia, 2021).

APÊNDICE C

A Tabela 40 apresenta a lista de classificação e seleção de palavras-chave identificadas na bibliografia de desenvolvimento dos Capítulos 1 e 2 sobre a temática da IET-AS. Ao todo são contabilizadas 49 diferentes palavras-chave num universo de 343 repetições, das quais 13 representam 79% do total. Essas palavras-chave são consolidadas nos três eixos principais da pesquisa, ver Tabela 4, para a realização da pesquisa no portal WOS.

Quando analisado individualmente as palavras-chave verifica-se que excetuando-se alguns países do eixo norte da AS, todos os outros são contemplados em análises individuais. Além disso, há diversos trabalhos que analisam macrorregiões, como por exemplo os países do MERCOSUL, do CAN e da UNASUL, neste último caso as avaliações contemplam todos os países da AS.

Tabela 40. Lista de palavras-chave identificadas na bibliografia do Capítulo 2.

Palavras-chave	Quantidade	%
Latin America	69	20%
Energy Integration	56	16%
Electricity	24	7%
Institutions	21	6%
Natural Gas	18	5%
Brazil	15	4%
Transmission	15	4%
Energy	13	4%
Bolivia	12	3%
Venezuela	9	3%
UNASUL	7	2%
Energy Security	6	2%
Pipeline	6	2%
Outras	72	21%
Total	343	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE D

Tabela 41. Registros excluídos no processo de triagem da RB.

Nº	Registro	Agrupamento	Critério de Exclusão
1	Energy planning in Latin America – brief review of selected countries	Geografia	Informação Ausente
2	Assessment of potential areas to biomass cultivation for energy production and a contribution of remote sensing and geographic information systems	Geografia; Planejamento Energético	Repetido
3	Assessment of the impact of renewable energy and energy efficiency policies on the Macedonian energy sector development	Planejamento Energético; Estrutura de Rede	Repetido
4	Determining and analysing solar irradiation based on freely available data: A case study from Croatia	Geografia; Estrutura de Rede	Repetido
5	Elemental analysis in energy integration among nations in the framework of the new generation of international energy law	Geografia; Planejamento Energético	Repetido
6	Energy and emissions forecast of China over a long-time horizon	Planejamento Energético; Estrutura de Rede	Repetido
7	Generation expansion planning scenarios to reduce natural gas dependency of Turkey	Estrutura de Rede	Repetido ¹
8	Geothermal Potential Evaluation for Northern Chile and Suggestions for New Energy Plans	Geografia; Estrutura de rede	Repetido
9	Integration of renewable energies using the surplus capacity of wind farms to generate H-2 and electricity in Brazil and in the Rio Grande do Sul state: energy planning and avoided emissions within a circular economy	Geografia; Planejamento Energético	Repetido
10	Optimal electricity system planning in a large hydro jurisdiction: Will British Columbia soon become a major importer of electricity?	Geografia; Estrutura de Rede	Repetido
11	Renewables in the optimal expansion of Colombian power considering the Hidroituango crisis	Geografia; Planejamento Energético	Repetido
12	The importance of nuclear energy for the expansion of Brazil's electricity grid	Geografia; Planejamento Energético	Repetido
13	The Role of Renewable Energies for the Sustainable Energy Governance and Environmental Policies for the Mitigation of Climate Change in Ecuador	Geografia; Planejamento Energético	Repetido
14	An exergy analysis of the Brazilian economy – from energy production to final energy use	Geografia	Aderência ao agrupamento
15	An integrated GIS and robust optimization framework for solar PV plant planning scenarios at utility scale	Geografia	Aderência ao agrupamento
16	Analysis of the sustainability of using wastes in the Brazilian power industry	Geografia	Aderência ao agrupamento

(continua)

(continuação)

Nº	Registro	Agrupamento	Critério de Exclusão
17	AOT Retrieval Procedure for Distributed Measurements With Low-Cost Sun Photometers	Geografia	Aderência ao agrupamento
18	Application of the Second Law of Thermodynamics in Brazilian Residential Appliances towards a Rational Use of Energy	Geografia	Aderência ao agrupamento
19	Artificial neural networks on integrated multispectral and SAR data for high-performance prediction of eucalyptus biomass	Geografia	Aderência ao agrupamento
20	Assessing the solar potential of low-density urban environments in Andean cities with desert climates: The case of the city of Mendoza, in Argentina	Geografia	Aderência ao agrupamento
21	Babassu – A new approach for an ancient Brazilian biomass	Geografia	Aderência ao agrupamento
22	Carbon emission as a function of energy generation in hydroelectric reservoirs in Brazilian dry tropical biome	Geografia	Aderência ao agrupamento
23	Climate and water resource change impacts and adaptation potential for US power supply	Planejamento Energético	Aderência ao agrupamento
24	Cointegration to estimate long-term electricity prices in periods of rationing: The case of the Brazilian hydrothermal system	Geografia	Aderência ao agrupamento
25	Colombian energy planning – Neither for energy, nor for Colombia	Geografia	Aderência ao agrupamento
26	Combined Forecast Model for Wind Generation in Brazilian Monthly Dispatch Scheduling	Geografia	Aderência ao agrupamento
27	Corporate Carbon Footprint of a Palm Oil Mill	Geografia	Aderência ao agrupamento
28	Deliberating on statewide energy targets	Planejamento Energético	Aderência ao agrupamento
29	Determinants of CO2 emissions in Brazil and Russia between 1992 and 2011: A decomposition analysis	Geografia	Aderência ao agrupamento
30	Determining and analysing solar irradiation based on freely available data: A case study from Croatia	Geografia	Aderência ao agrupamento
31	Economic planning of wind farms from a NBI-RSM-DEA multiobjective programming	Geografia	Aderência ao agrupamento
32	Economic study on LFG energy projects in function of the number of generators	Geografia	Aderência ao agrupamento
33	Electric energy generation from small-scale solar and wind power in Brazil: The influence of location, area, and shape	Geografia	Aderência ao agrupamento
34	Electricity and the environment – air pollutant emissions in Argentine	Geografia	Aderência ao agrupamento
35	Emerging symbiosis: Renewable energy and energy security	Planejamento Energético	Aderência ao agrupamento
36	Emissions reduction potential from CO2 capture: A life-cycle assessment of a Brazilian coal-fired power plant	Geografia	Aderência ao agrupamento
37	Energy issues and energy priorities	Planejamento Energético	Aderência ao agrupamento
38	Energy Justice in Slum Rehabilitation Housing: An Empirical Exploration of Built Environment Effects on Socio-Cultural Energy Demand	Geografia	Aderência ao agrupamento
39	Environmental licensing and energy policy regulating utility-scale solar photovoltaic installations in Brazil: status and future perspectives	Geografia	Aderência ao agrupamento

Nº	Registro	Agrupamento	Critério de Exclusão
40	Evaluating the Marginal Land Resources Suitable for Developing Pistacia chinensis-Based Biodiesel in China	Planejamento Energético	Aderência ao agrupamento
41	Evolution of sustainable energy policies in India since 1947: A review	Planejamento Energético	Aderência ao agrupamento
42	Integration of renewable energies using the surplus capacity of wind farms to generate H-2 and electricity in Brazil and in the Rio Grande do Sul state: energy planning and avoided emissions within a circular economy	Geografia	Aderência ao agrupamento
43	Iron ore and steel production trends and material flows in the world: Is this really sustainable?	Geografia	Aderência ao agrupamento
44	Nonconventional renewable energy governance in Brazil: Lessons to learn from the German experience	Geografia	Aderência ao agrupamento
45	Optimization of electricity generation of a tidal power plant with reservoir constraints	Geografia	Aderência ao agrupamento
46	Outlook of coal-fired power plant development and the regional ecosystem and environmental protection in China	Planejamento Energético	Aderência ao agrupamento
47	Potentialities of energy generation from waste and feedstock produced by the agricultural sector in Brazil: The case of the State of Parana	Geografia	Aderência ao agrupamento
48	Pumped hydro storage plants: a review	Geografia	Aderência ao agrupamento
49	Regulatory change and innovation in Latin America: The case of renewable energy in Brazil	Geografia	Aderência ao agrupamento
50	Renewable energy in Saudi Arabia: current status and future potentials	Planejamento Energético	Aderência ao agrupamento
51	Replacing diesel by solar in the Amazon: short-term economic feasibility of PV-diesel hybrid systems	Geografia	Aderência ao agrupamento
52	The prospects of small modular reactors in Southeast Asia	Planejamento Energético	Aderência ao agrupamento
53	The renewable energy market in Brazil: Current status and potential	Geografia	Aderência ao agrupamento
54	The state of solar energy resource assessment in Chile	Geografia	Aderência ao agrupamento
55	The vulnerability of wind power to climate change in Brazil	Geografia	Aderência ao agrupamento
56	The evolution of an energy analyst: Some personal reflections	Geografia	Aderência ao agrupamento
57	Urban energy consumption mapping for energy management	Geografia	Aderência ao agrupamento
58	Why Did Better Place Fail? Range anxiety, interpretive flexibility, and electric vehicle promotion in Denmark and Israel	Planejamento Energético	Aderência ao agrupamento
59	Wind energy in Brazil: From the power sector's expansion crisis model to the favorable environment	Geografia	Aderência ao agrupamento

(conclusão)

¹ Dois registros idênticos no mesmo agrupamento.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 42. Códigos e lógicas de exclusão de registros.

Agrupamento	Código	Lógica	Registros
Estrutura de Rede	#9	(#8 NOT DO=10.1177/0144598716629873) AND TIPOS DE DOCUMENTO: (Article OR Review) AND Tempo estipulado = 1900-2021	20
Geografia	#10	((#3 NOT (TI=(“AN EXERGY ANALYSIS OF THE BRAZILIAN ECONOMY – FROM ENERGY-PRODUCTION TO FINAL ENERGY USE” OR “An integrated GIS and robust optimization framework for solar PV plant planning scenarios at utility scale” OR “Analysis of the sustainability of using wastes in the Brazilian power industry” OR “AOT Retrieval Procedure for Distributed Measurements With Low-Cost Sun Photometers” OR “Application of the Second Law of Thermodynamics in Brazilian Residential Appliances towards a Rational Use of Energy” OR “Artificial neural networks on integrated multispectral and SAR data for high-performance prediction of eucalyptus biomass” OR “Assessing the solar potential of low-density urban environments in Andean cities with desert climates: The case of the city of Mendoza, in Argentina” OR “Babassu – A new approach for an ancient Brazilian biomass” OR “Carbon emission as a function of energy generation in hydroelectric reservoirs in Brazilian dry tropical biome” OR “Cointegration to estimate long-term electricity prices in periods of rationing: The case of the Colombian hydrothermal system” OR “Colombian energy planning – Neither for energy, nor for Colombia” OR “Combined Forecast Model for Wind Generation in Brazilian Monthly Dispatch Scheduling” OR “Corporate Carbon Footprint of a Palm Oil Mill” OR “Determinants of CO2 emissions in Brazil and Russia between 1992 and 2011: A decomposition analysis” OR “Determining and analysing solar irradiation based on freely available data: A case study from Croatia” OR “Economic planning of wind farms from a NBI-RSM-DEA multiobjective programming” OR “Economic study on LFG energy projects in function of the number of generators” OR “Electric energy generation from small-scale solar and wind power in Brazil: The influence of location, area and shape” OR “ELECTRICITY AND THE ENVIRONMENT – AIR POLLUTANT EMISSIONS IN ARGENTINA” OR “Emissions reduction potential from CO2 capture: A life-cycle assessment of a Brazilian coal-fired power plant” OR “Energy Justice in Slum Rehabilitation Housing: An Empirical Exploration of Built Environment Effects on Socio-Cultural Energy Demand” OR “Environmental licensing and energy policy regulating utility-scale solar photovoltaic installations in Brazil: status and future perspectives” OR “Integration of renewable energies using the surplus capacity of wind farms to generate H-2 and electricity in Brazil and in the Rio Grande do Sul state: energy planning and avoided emissions within a circular economy” OR “Iron ore and steel production trends and material flows in the world: Is this really sustainable?” OR “Nonconventional renewable energy governance in Brazil: Lessons to learn from the German experience” OR “Optimization of electricity generation of a tidal power plant with reservoir constraints” OR “Potentialities of energy generation from waste and feedstock produced by the agricultural sector in Brazil: The case of the State of Parana” OR “Pumped hydro storage plants: a review” OR “Regulatory change and innovation in Latin America: The case of renewable energy in Brazil” OR “Replacing diesel by solar in the Amazon: short-term economic feasibility of PV-diesel hybrid systems” OR “The renewable energy market in Brazil: Current status and potential” OR “The state of solar energy resource assessment in Chile” OR “The vulnerability of wind power to climate change in Brazil” OR “The evolution of an energy analyst: Some personal reflections” OR “Urban energy consumption mapping for energy management” OR “Wind energy in Brazil: From the power sector’s expansion crisis model to the favorable environment” OR “Energy Justice in Slum Rehabilitation Housing: An Empirical Exploration of Built Environment Effects on Socio-Cultural Energy Demand” OR “ASSESSMENT OF POTENTIAL AREAS TO BIOMASS CULTIVATION FOR ENERGY PRODUCTION AND A CONTRIBUTION OF REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS” OR “Determining and analysing solar irradiation based on freely available data: A case study from Croatia” OR “ELEMENTAL ANALYSIS IN ENERGY INTEGRATION AMONG NATIONS IN THE FRAMEWORK OF THE NEW GENERATION OF INTERNATIONAL ENERGY LAW” OR “Geothermal Potential Evaluation for Northern Chile and Suggestions for New Energy Plans” OR “Integration of renewable energies using the surplus capacity of wind farms to generate H-2 and electricity in Brazil and in the Rio Grande do Sul state: energy planning and avoided emissions within a circular economy” OR “Optimal electricity system planning in a large hydro jurisdiction: Will British Columbia soon become a major importer of electricity?” OR “Renewables in the optimal expansion of 242colombian power considering the Hidroituango crisis” OR “The importance of nuclear energy for the expansion of Brazil’s electricity grid” OR “The Role of Renewable Energies for the Sustainable Energy Governance and Environmental Policies for the Mitigation of Climate Change in Ecuador”)))) AND TIPOS DE DOCUMENTO: (Article OR Review) AND Tempo estipulado = 1900-2021	77

(continua)

Agrupamento	Código	Lógica	Registros
Planejamento Energético	#11	(((#5 NOT (TI=("Climate and water resource change impacts and adaptation potential for US power supply" OR "Deliberating on statewide energy targets" OR "Emerging symbiosis: Renewable energy and energy security" OR "Energy issues and energy priorities" OR "Evaluating the Marginal Land Resources Suitable for Developing Pistacia chinensis-Based Biodiesel in China" OR "Evolution of sustainable energy policies in India since 1947: A review" OR "Outlook of coal-fired power plant development and the regional ecosystem and environmental protection in China" OR "Renewable energy in Saudi Arabia: current status and future potentials" OR "The prospects of small modular reactors in Southeast Asia" OR "Why Did Better Place Fail?: Range anxiety, interpretive flexibility, and electric vehicle promotion in Denmark and Israel" OR "Assessment of the impact of renewable energy and energy efficiency policies on the Macedonian energy sector development" OR "Energy and emissions forecast of China over a long-time horizon"))))) AND TIPOS DE DOCUMENTO: (Article OR Review) AND Tempo estipulado = 1900-2021	38
Consolidado	#12	#9 OR #10 OR #11 AND TIPOS DE DOCUMENTO: (Article OR Review) AND Tempo estipulado = 1900-2021	134
Final	#13	(((#12 NOT (TI=("Balancing the Energy Trilemma in energy system planning of coastal cities" OR "Bigger Is Not Always Better: Review of Small Wind in Brazil" OR "Community-level decentralized energy system planning under uncertainty: A comparison of mathematical models for strategy development" OR "Determining and analysing solar irradiation based on freely available data: A case study from Croatia" OR "Energy generation in Brazilian isolated systems: Challenges and proposals for increasing the share of renewables based on a multicriteria analysis" OR "ENERGY PLANNING IN LATIN-AMERICA – A BRIEF REVIEW OF SELECTED COUNTRIES" OR "Growth projections against set-target of renewable energy and resultant impact on emissions reduction in India" OR "Integration of renewable energies using the surplus capacity of wind farms to generate H-2 and electricity in Brazil and in the Rio Grande do Sul state: energy planning and avoided emissions within a circular economy" OR "Iron ore and steel production trends and material flows in the world: Is this really sustainable?" OR "Power sector investment implications of climate impacts on renewable resources in Latin America and the Caribbean" OR "The design of 100 % renewable smart urb an energy systems: The case of Bozen-Bolzano" OR "Why Did Better Place Fail? Range anxiety, interpretive flexibility, and electric vehicle promotion in Denmark and Israel"))))) AND TIPOS DE DOCUMENTO: (Article OR Review) AND Tempo estipulado = 1900-2021	124

(conclusão)

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE E

Tabela 43. Lista de artigos excluídos no processo de triagem da RS.

Etapa de triagem	Critério de exclusão	Documentos	Nº
Quarto passo	Documentos sem estrutura completa e que não apresentam modelo ou ferramenta de PELP	<p>A fuzzy outranking method in energy policy planning A non-autonomous optimal control model of renewable energy production under the aspect of fluctuating supply and learning by doing Addressing 2030 EU policy framework for energy and climate: Cost, risk and energy security issues Chile: Paving the way for sustainable energy planning Citizen acceptance of new fossil fuel infrastructure: Value theory and Canada's Northern Gateway Pipeline Climate change scenarios for Paraguayan power demand 2017-2050 Collaborative energy visioning under conditions of illiberal democracy: results and recommendations from Ecuador Complementarity hidroelica: challenges and prospects for energy planning national Drought and energy security in key ASEAN countries Elemental analysis in energy integration among nations in the framework of the new generation of international energy law Energy planning and policy making; The case study of Iran Energy use in Indian household sector – An actor-oriented approach Environmental impacts of electricity generation at global, regional and national scales in 1980-2011: what can we learn for future energy planning? Evaluating electric power generation technologies: A multicriteria analysis based on the FITradeoff method Evaluating the Transition Towards Post-Carbon Cities: A Literature Review Forecasting Brazil's Electricity Consumption with Pegels Exponential Smoothing Techniques Forecasting of Chinese Primary Energy Consumption in 2021 with GRU Artificial Neural Network Generation expansion planning scenarios to reduce natural gas dependency of Turkey Impacts of climate change on energy systems in global and regional scenarios Interactions between energy security and climate change: A focus on developing countries Looking back to go forward ? The interplay between long-term futures and political expectations in sustainability transitions in Chile Marginal technology based on consequential life cycle assessment. The case of Colombia Participatory and multi-level governance: applications to Aboriginal renewable energy projects Renewable energy production and demand dataset for the energy system of Colombia Review and assessment of energy policy developments in Chile Quantifying the geopolitical dimension of energy risks: A tool for energy modelling and planning Social dimensions of smart grid: Regional analysis in Canada and the United States. Introduction to special issue of Renewable and Sustainable Energy Reviews Sustainability deterioration of electricity generation in Brazil Synthetic scenario generation of monthly streamflows conditioned to the El Nino-Southern Oscillation: application to operation planning of hydrothermal systems The impact of electric generation capacity by renewable and non-renewable energy in Brazilian economic growth The importance of nuclear energy for the expansion of Brazil's electricity grid Uncovering the multiple objectives behind national energy efficiency planning Water-electricity nexus in Ecuador: The dynamics of the electricity's blue water footprint</p>	33

(continua)

(continuação)

Etapa de triagem	Critério de exclusão	Documentos	Nº
Quinto passo	Documentos com abordagem local (zonas rurais e urbanas, cidades e áreas insulares)	<p>A multi-criteria decision support tool for the assessment of household biogas digester programmes in rural areas. A case study in Peru</p> <p>Analyzing energy options for small-scale off-grid communities: A Canadian case study</p> <p>Assessing the impact of micro-generation technologies on local sustainability</p> <p>Benefits of Low Carbon Development Strategies in Emerging Cities of Developing Country: A Case of Kathmandu</p> <p>Benefits of natural gas introduction in the energy matrix of isolated electrical system in the city of Manaus – state of Amazonas – Brazil</p> <p>COMPUTER AIDED RURAL ENERGY PLANNING</p> <p>Energy planning model with renewable energy using optimization multicriteria techniques for isolated rural communities: Cajamarca province, Peru</p> <p>Energy sovereignty and development planning: the case of Maputo, Mozambique</p> <p>Environmental considerations in energy planning for the Amazon region: Downstream effects of dams</p> <p>From equipment to infrastructure: community energy management and greenhouse gas emission reduction</p> <p>Hierarchical methodology to optimize the design of stand-alone electrification systems for rural communities considering technical and social criteria</p> <p>Impacts of the hydrological potential change on the energy matrix of the Brazilian State of Minas Gerais: A case study</p> <p>Increasing shares of intermittent sources in Reunion Island: Impacts on the future reliability of power supply</p> <p>INTEGRATED ENERGY-EMISSIONS CONTROL PLANNING IN THE COMMUNITY OF UPPSALA</p> <p>Integration of transport and energy sectors in island communities with 100% intermittent renewable energy sources</p> <p>Long-term energy planning with uncertain environmental performance metrics</p> <p>Long-Term Renewable Energy Planning Model for Remote Communities</p> <p>Municipal scale scenario: Analysis of an Italian seaside town with MarkAL-TIMES</p> <p>Optimal renewable energy supply choices for net-zero ready buildings: A life cycle thinking approach under uncertainty</p> <p>Projection of the Demand of Electricity in the State of Parana for 2050 and Proposal of Complementarity of the Electrical Matrix through the Solar Photovoltaic Source</p> <p>Quantifying biodiversity trade-offs in the face of widespread renewable and unconventional energy development</p> <p>Renewable energy integration into community energy systems: A case study of new urban residential development</p> <p>Renewable energy planning policy for the reduction of poverty in Brazil: lessons from Juazeiro</p> <p>Renewable Energy Potential for Sustainable Long-Term Electricity Energy Planning: A Bottom-up Model Application</p> <p>Risk management of energy system for identifying optimal power mix with financial-cost minimization and environmental-impact mitigation under uncertainty</p> <p>Solar energy scenarios in Brazil. Part two: Photovoltaics applications</p> <p>Sustainable bioenergy production strategies for rural India</p> <p>Sustainable urban energy planning: The case Study of a tropical city</p> <p>The dawn of urban energy planning – Synergies between energy and urban planning for Sao Paulo (Brazil) megacity</p> <p>The design of 100% renewable smart urban energy systems: The case of Bozen-Bolzano</p> <p>The energy-climate-health nexus in energy planning: A case study in Brazil</p> <p>The impact of demand side management strategies in the penetration of renewable electricity</p> <p>The impact on electricity demand and emissions due to the introduction of electric cars in the Sao Paulo Power System</p> <p>Utilization of residues from rice parboiling industries in southern Brazil for biogas and hydrogen-syngas generation: Heat, electricity and energy planning</p>	34

(continuação)

Etapa de triagem	Critério de exclusão	Documentos	Nº
Sexto passo	Documentos com abordagem de projetos específicos (biomassa, solar, hidrico)	<p>A bottom-up methodology for long term electricity consumption forecasting of an industrial sector – Application to pulp and paper sector in Brazil</p> <p>Analysis of past and future oil production in Peru under a Hubbert approach</p> <p>Are conventional energy megaprojects competitive?</p> <p>Suboptimal decisions related to cost overruns in Brazil</p> <p>Assessing Environmental Justice in Large Hydropower Projects: The Case of Sao Luiz do Tapajos in Brazil</p> <p>Assessing sugarcane expansion to ethanol production under climate change scenarios in Paranaiba river basin – Brazil</p> <p>ASSESSMENT OF POTENTIAL AREAS TO BIOMASS CULTIVATION FOR ENERGY PRODUCTION AND A CONTRIBUTION OF REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS</p> <p>CO2 emissions in the Brazilian industrial sector according to the integrated energy planning model (IEPM)</p> <p>Cost overruns and delays in energy megaprojects: How big is big enough?</p> <p>Fuzzy Complex Proportional Assessment Applied in Location Selection for Installation of Photovoltaic Plants</p> <p>Fuzzy spatial decision tool to rank suitable sites for allocation of bioenergy plants based on crop residue</p> <p>Geothermal Potential Evaluation for Northern Chile and Suggestions for New Energy Plans</p> <p>Gis-based procedures for hydropower potential spotting</p> <p>IDENTIFICATION, ASSESSMENT AND ORDERING OF CONCEPTS FOR AGRO-ENERGY PLANNING AND POSSIBILITIES OF SPATIAL ANALYSIS</p> <p>Impacts of climate change and deforestation on hydropower planning in the Brazilian Amazon</p> <p>Integrated resources planning as a tool to address energy poverty in Brazil</p> <p>Introducing nuclear power in Turkey: A historic state strategy and future prospects</p> <p>Modelling concentrated solar power (CSP) in the Brazilian energy system: A soft-linked model coupling approach</p>	17
Sétimo passo	trabalhos focados na análise de um único recurso energético do lado da oferta	<p>Including Wind Power Generation in Brazil's Long-Term Optimization Model for Energy Planning</p> <p>Network flows modeling applied to the natural gas pipeline in Brazil</p> <p>Swiss pumped hydro storage potential for Germany's electricity system under high penetration of intermittent renewable energy</p>	03
Oitavo passo	trabalhos com modelos focados na operação do sistema elétrico	<p>A time series model for building scenarios trees applied to stochastic optimisation</p> <p>Efficient Energy Planning With Decomposition-Based Evolutionary Neural Networks</p> <p>Integration of Water and Energy Planning to Promote Sustainability</p> <p>On the solution variability reduction of Stochastic Dual Dynamic Programming applied to energy planning</p>	04
Nono passo	Documentos com modelo de CP	<p>Identification of objectives for national energy planning in developing countries</p> <p>Natural gas in Brazil's energy matrix: demand for 1995-2010 and usage factors</p> <p>Optimization of India's power sector strategies using weight-restricted stochastic data envelopment analysis</p>	02

Etapa de triagem	Critério de exclusão	Documentos	Nº
Décimo passo	Documento focado apenas na avaliação da dimensão técnica de dois recursos	Assessment of solar and wind energy potential in La Guajira, Colombia: Current status, and future prospects	01
Décimo primeiro passo	Documento não permite a rastreabilidade da metodologia, dados e resultados	The Role of Renewable Energies for the Sustainable Energy Governance and Environmental Policies for the Mitigation of Climate Change in Ecuador	01
Total			96

(conclusão)

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE F

Tabela 44. Consolidação das características gerais dos modelos e ferramentas analisados da RS.

Tipo	Sigla	Referência	Objetivos Gerais	Objetivos específicos	Abordagem Analítica	Metodologia Implícita	Cobertura geográfica	Cobertura Setorial
F	ENPEP-BALANCE	(Rapidis, Giannakopoulos and Bergeles, 2010), (Mirasgedis <i>et al.</i> , 2004)	Cenário e suporte a decisão de investimento	Oferta e demanda	Híbrido	Simulação	Local a Regional	Todos
F	EPLANoptTP	(Prina <i>et al.</i> , 2019)	Previsão	Oferta e demanda	<i>Bottom-up</i>	Simulação	Nacional	Todos
F	LEAP	(Rehman <i>et al.</i> , 2017), (Castro Verdezoto, Vidoza and Gallo, 2019), (García-Gusano, Iribarren and Dufour, 2018), (Mirjat, Muhammad Aslam Uqaili, <i>et al.</i> , 2018), (Quijano H, Botero B and Domínguez B, 2012), (Gómez, Dopazo and Fueyo, 2016), (Tembo and Merven, 2013)	Cenário e previsão	Oferta e demanda	Híbrido	Simulação e Otimização	Nacional	Industrial, Residencial e Transporte
F	MARKAL	(La Rovere, Legey and Miguez, 1994), (Pattanapongchai and Limmeechokchai, 2015), (Taseska-Gjorgievska <i>et al.</i> , 2013)	Cenário e previsão	Oferta e demanda	<i>Bottom-up</i>	Otimização e Equilíbrio parcial	Local a Regional	Agrícola, Industrial, Residencial e Transporte
F	MESSAGE	(Tembo and Merven, 2013), (Watts and Martinez, 2012), (Kiani <i>et al.</i> , 2013), (Nogueira <i>et al.</i> , 2014)	Cenário, previsão, suporte a decisão de investimento e análise política	Oferta e demanda	Híbrido	Otimização	Global	Industrial, Residencial e Transporte
F	MODERGIS	(Quijano H, Botero B and Domínguez B, 2012)	Cenário, previsão, suporte a decisão de investimento e análise política	Oferta e demanda	<i>Bottom-up</i>	Simulação e Otimização	Local a Regional	Todos

(continua)

Tipo	Sigla	Referência	Objetivos Gerais	Objetivos específicos	Abordagem Analítica	Metodologia Implícita	Cobertura geográfica	Cobertura Setorial
F	MUSE (South_Brazil)	(García Kerdan <i>et al.</i> , 2019)	Cenário, previsão, suporte a decisão de investimento	Oferta e demanda	<i>Bottom-up</i>	Simulação e Equilíbrio parcial	Local a Regional	Comercial, Industrial, Residencial e Transporte
F	OSeMOSYS	(Pappis <i>et al.</i> , 2021), (García-Gusano, Iribarren and Dufour, 2018)	Previsão e suporte a decisão de investimento	Oferta e demanda	<i>Bottom-up</i>	Otimização	Local a Regional	Agregados
F	TIMES	(Ullash K Rout <i>et al.</i> , 2011)	Cenário e previsão	Oferta e demanda	<i>Bottom-up</i>	Otimização e Equilíbrio parcial	Local e Global	Agrícola, Industrial, Residencial e Transporte
FP	EnergyPLAN	(Prina <i>et al.</i> , 2019)	Cenário e suporte a decisão de investimento	Spot	<i>Bottom-up</i>	Simulação	Local a Nacional	Industrial, Residencial e Transporte
FP	GINO in GAMS	(García Kerdan <i>et al.</i> , 2019)	Previsão	Oferta	<i>Bottom-up</i>	Otimização	Local a Regional	Transporte
FP	PowerGAMA	(Gaete-Morales <i>et al.</i> , 2019)	Cenário	Oferta e demanda	<i>Bottom-up</i>	Simulação e Otimização	Nacional a Regional	Agregados
FP	SuperDecisions-AHP-MCDM	(Malkawi, Al-Nimr and Azizi, 2017)	Suporte a decisão de investimento	-	-	-	-	-
FP	TOPSIS	(Brand and Missaoui, 2014)	Suporte a decisão de investimento	-	-	-	-	-
FP	Vikor	(Quijano H, Botero B and Domínguez B, 2012)	Suporte a decisão de investimento	-	-	-	-	-
MP	ARIMA	(Rehman <i>et al.</i> , 2017)	Previsão	Oferta e demanda	Híbrido	Simulação	Nacional	Todos
MP	Holt-Winter	(Rehman <i>et al.</i> , 2017)	Previsão	Oferta e demanda	Híbrido	Simulação	Nacional	Todos
M	FuturES	(Gaete-Morales <i>et al.</i> , 2019)	Cenário, previsão, suporte a decisão de investimento e análise política	Oferta	<i>Bottom-up</i>	Otimização	Local a Nacional	-
M	MILP	(Koltsaklis <i>et al.</i> , 2014)	Suporte a decisão de investimento	Oferta	<i>Top-down</i>	Simulação e Otimização	Local a Regional	-
M	NLP	(Thangavelu, Khambadkone and Karimi, 2015)	Cenário e suporte a decisão de investimento	Oferta e demanda	<i>Top-down</i>	Otimização e Equilíbrio parcial	Nacional	-
M	RO	(Henao and Dyner, 2020)	Cenário e suporte a decisão de investimento	Oferta e demanda	<i>Bottom-up</i>	Otimização	Nacional	-
M	SD	(Gómez, Arango-Aramburo and Larsen, 2017)	Cenário e suporte a decisão de investimento	Oferta	<i>Bottom-up</i>	Simulação	Nacional	-

(conclusão)

F = Ferramenta; FP = Ferramenta de apoio; M = Modelo; MP = Modelo de apoio.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 45. Consolidação das características específicas dos modelos e ferramentas analisados da RS.

Tipo	Sigla	Horizonte de tempo	Requisitos de dados	Dimensão	En-In	Geografia	RELO e RELD	Demanda	IE
F	ENPEP-BALANCE	Resolução interanual com horizonte de LP típico de 20-30 anos	Quanti, Finan, Agreg e Desag	Emis, T&E	S	N	Conv, Renov e armazen, EE	Elástica	Imp e Exp
F	EPLANoptTP	Resolução horária com horizonte de LP	Quanti, Finan, Agreg e Desag	Emis, T&E	N	N	Conv, Renov e armazen	Elástica	-
F	LEAP	Resolução anual com horizonte de LP típico de 20-30 anos	Quanti, Finan, Agreg e Desag	Emis, Soc e T&E	N	N	Conv, Renov e armazen	Elástica	Imp e Exp
F	MARKAL	Resolução interanual com horizonte de LP indefinido	Quanti, Finan, Agreg e Desag	Emis, T&E	N	N	Conv, Renov e armazen	Elástica	Imp e Exp
F	MESSAGE	Resolução indefinida com horizonte de LP indefinido	Quanti e Finan	Emis, Polu, Soc e T&E	N	N	Conv, Renov e armazen	Elástica	Imp e Exp
F	MODERGIS	Resolução anual com horizonte de LP típico de 20-30 anos	Quanti, Finan, Agreg e Desag	Emis, Polu, Soc, Sust e T&E	N	S	-	Elástica	Imp e Exp
F	MUSE (South_Brazil)	Resolução anual com horizonte de LP	Quanti, Finan, Agreg e Desag	T&E	N	S	Conv, Renov e armazen	-	Imp e Exp
F	OSeMOSYS	Resolução interanual com horizonte de LP indefinido	Quanti, Finan, Agreg e Desag	Emis, Polu e T&E	N	N	Conv, Renov e armazen	Inelástica	Imp e Exp
F	TIMES	Resolução interanual com horizonte de LP indefinido	Quanti, Finan, Agreg e Desag	Emis, Polu e T&E	N	N	Conv, Renov e armazen	Elástica	-
FP	EnergyPLAN	Resolução horária com horizonte de um ano	Quanti e Desag	T	N	N	Conv, Renov e armazen	Elástica	Imp e Exp
FP	GINO in GAMS	Resolução anual	Quanti, Agreg, Desag	T	N	S	NG, armazen, transporte	-	-
FP	PowerGAMA	Resolução tipicamente anual com horizonte tipicamente anual	Quanti e Desag	Customizável	N	-	Conv, Renov e armazen	Inelástica	-
FP	SuperDecisions-AHP-MCDM	-	Quali, Quanti, Finan, Agreg e Desag	Todos	S	N	Todos	-	Imp e Exp
FP	TOPSIS	-	Quali, Quanti, Finan, Agreg e Desag	Todos	S	-	Todos	-	Imp e Exp
FP	Vikor	-	Quanti, Finan, Agreg e Desag	Emis, Polu, Soc, Sust e T&E	N	S	-	-	-
MP	ARIMA	Indefinido	Quanti e Agreg	E	N	N	Todos	Inelástica	-
MP	Holt-Winter	Indefinido	Quanti e Agreg	E	N	N	Todos	Inelástica	-

(continua)

Tipo	Sigla	Horizonte de tempo	Requisitos de dados	Dimensão	En-In	Geografia	RELO e RELD	Demanda	IE
M	FuturES	Resolução horária com horizonte de LP	Quanti, Finan, Agreg e Desag	T&E	N	N	Conv, Renov e armazen	-	-
M	MILP	Resolução anual com horizonte de LP	Quali, Quanti, Finan, Agreg e Desag	Emis, T&E	N	S	Conv, Renov e armazen	Inelástica	Imp e Exp
M	NLP	Indefinido	Quanti e Agreg	T&E	N	N	Todos de oferta	-	-
M	RO	Resolução anual com horizonte de LP	Quanti, Finan, Agreg e Desag	T&E	N	S	Conv, Renov e Armaz	-	-
M	SD	Resolução anual com horizonte de LP	Quanti, Finan, Agreg e Desag	Emis, T&E	N	S	Conv, Renov	-	-

(conclusão)

F = Ferramenta; FP = Ferramenta de apoio; M = Modelo; MP = Modelo de apoio; Quanti = Quantitativo; Quali= Qualitativo; Finan = Financeiro; Agreg – Agregado; Desag = Desagregado; T = Dimensão Técnica; E = Dimensão Econômica; Soc = Dimensão Social; Emis = Emissões; Polu = Poluentes; Sust = Sustentabilidade; S = Sim; N = Não; Conv = Fontes e recursos convencionais não renováveis; Renov = Fontes e recursos renováveis; Armaz = Recursos e tecnologias de armazenamento de energia; EE = Eficiência Energética; Imp = Importação de energia e/ou eletricidade; Exp = Exportação de energia e/ou eletricidade.

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE G

Tabela 46. Consolidação das premissas e resultados do Custo de Geração.

LCOE	Unid.	UTE Urus/ CCS	UTE Uru c/ CCS	UTE on s/ CCS	UTE on c/ CCS	UTE off s/ CCS	UTE off c/ CCS	UTE Mario Covas s/ CCS	UTE Mario Covas s/ CCS	UHE Garabi	UHE Panambi	UHE Guajará-Mirim	UHE Cachuela Esperanza	UHE Inambari
ρ	anos	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
r	%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
ECE	%	59%	59%	59%	59%	59%	59%	59%	59%	-	-	-	-	-
Comb.	USD/MMBtu	9,54	9,54	4,38	4,38	3,70	3,70	10,62	10,62	-	-	-	-	-
Overnight	USD/kWe	667	667	958	958	1.198	1.198	767	767	2.326	2.326	2.326	2.326	2.326
CAPEX	USD/kWe	772	772	1.108	1.108	2.124	2.124	888	888	2.326	2.326	2.326	2.326	2.326
Desc.	%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
O&M fixo	USD/kW	15,86	15,86	15,86	15,86	83,72	83,72	15,86	15,86	94,11	94,11	94,11	94,11	13,16
O&M v	USD/MWh	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	7,88	7,88	7,88	7,88	4,20
Custo CO2	USD/tonCO ₂	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Comb.	US\$/MWh	55,13	55,13	25,34	25,34	21,37	21,37	61,35	61,35	-	-	-	-	-
Desc.	US\$/MWh	0,26	0,26	0,37	0,37	0,46	0,46	0,30	0,30	1,29	1,28	1,14	1,16	0,85
Custo CO2	US\$/MWh	23,19	2,32	33,70	3,37	33,70	3,37	19,18	2,01	0,26	0,24	0,78	0,25	0,69
Custo CO2e	US\$/MWh	26,19	5,31	38,06	7,72	38,06	7,72	21,66	4,60	433,98	398,06	1.274,62	414,41	1.133,66
OPEX	US\$/MWh	5,51	5,51	5,51	5,51	14,62	14,62	5,51	5,51	26,04	25,89	23,98	24,23	5,89
CAPEX	US\$/MWh	5,94	5,94	8,53	8,53	16,35	16,35	6,83	6,83	25,73	25,52	22,81	23,15	17,10
LCOE s/ custo Emissão (1)	US\$/MWh	72,23	74,56	42,97	45,29	64,43	66,64	75,55	77,88	53,21	55,42	52,08	54,85	39,45
LCOE c/ custo Emissão (2)	US\$/MWh	98,42	79,87	81,02	53,02	102,49	74,36	97,21	82,48	487,19	453,47	1.326,70	469,26	1.173,12
LCOE (2)-(1)	US\$/MWh	26,19	5,31	38,06	7,72	38,06	7,72	21,66	4,60	433,98	398,06	1.274,62	414,41	1.133,66

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 47. Consolidação das premissas e resultados das emissões de poluentes atmosféricos e GEE.

Emissão	Unid.	UTE Uru s/ CCS	UTE Uru c/ CCS	UTE on s/ CCS	UTE on c/ CCS	UTE off s/ CCS	UTE off c/ CCS	UTE Mario Covas s/ CCS	UTE Mario Covas s/ CCS	UHE Garabi	UHE Panambi	UHE Guajará- Mirim	UHE Cachuela Esperanza	UHE Inambari 2
CH4	kg/MWh	-	-	-	-	-	-	-	-	173	173	173	173	173
CO2	kg/MWh	324	324	324	324	324	324	324	324	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95
NOx	kg/MWh	0,1582	0,1582	0,158	0,158	0,158	0,158	0,1582	0,1582	-	-	-	-	-
SOx	kg/MWh	0,0023	0,0023	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0023	0,0023	-	-	-	-	-
E&P GN	tCO _{2e} /MWh	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	-	-	-	-	-
Processamento GN	tCO _{2e} /MWh	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	-	-	-	-	-
Transporte GN	tCO _{2e} /MWh.km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-
GWP – CH4	CO _{2e}	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
GWP – CO2	CO _{2e}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
GWP – NOx	CO _{2e}	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265
GWP – SOx	CO _{2e}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4	ton/ano	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0x10 ⁶	0,9x10 ⁶	3,0x10 ⁶	1,0x10 ⁶	2,7x10 ⁶
CO2	ton/ano	1,6x10 ⁶	1,6x10 ⁶	2,3x10 ⁶	2,3x10 ⁶	2,3x10 ⁶	2,3x10 ⁶	1,3x10 ⁶	1,3x10 ⁶	17.609	16.151	51.718	16.815	45.999
NOx	ton/ano	754	754	1,095	1,095	1,095	1,095	623	653	-	-	-	-	-
SOx	ton/ano	11	11	16	16	16	16	9	9	-	-	-	-	-
CO2 Capt.	Ton/ano	-	1,39x10 ⁶	-	2,02x10 ⁶	-	2,02x10 ⁶	-	1,2x10 ⁶	-	-	-	-	-
Eg	tonCO _{2e} /ano	1,7x10 ⁶	0,4x10 ⁶	2,5 x10 ⁶	0,5x10 ⁶	2,5x10 ⁶	0,5x10 ⁶	1,4x10 ⁶	0,3x10 ⁶	28,9x10 ⁶	26,5x10 ⁶	85,0x10 ⁶	27,6x10 ⁶	75,6x10 ⁶
Cadeia GN	tonCO _{2e} /ano	0,7x10 ⁶	0,7x10 ⁶	1,0x10 ⁶	1,0x10 ⁶	0,9x10 ⁶	0,9x10 ⁶	0,5x10 ⁶	0,6x10 ⁶	-	-	-	-	-
Eg total	tonCO _{2e} /ano	2,4x10 ⁶	1,0 x10 ⁶	3,5x10 ⁶	1,5x10 ⁶	3,4x10 ⁶	1,4x10 ⁶	2,0x10 ⁶	0,9x10 ⁶	28,9x10 ⁶	26,5x10 ⁶	85,0x10 ⁶	27,6x10 ⁶	75,6x10 ⁶

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 48. Consolidação das premissas e resultados da Captação e Consumo de recursos hídricos.

Captação e Consumo		UTE Uruguaiana		UTE onshore		UTE offshore		UTE Mário Covas		UHE Garabi	UHE Panambi	UHE Guajará-Mirim	UHE Cachuela Esperanza	UHE Inambari
		s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS					
GT	Nº	2	2	2	2	2	2	2	2	-	-	-	-	-
ST	Nº	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-
Hidro	Nº	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1
GT cap	m³/MWh	132	132	132	132	132	132	132	132	132	-	-	-	-
GT cons	m³/MWh	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	-	-	-	-
ST cap	m³/MWh	52	52	52	52	52	52	52	52	52	-	-	-	-
ST cons	m³/MWh	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-	-	-	-
hidro cap	m³/MWh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	76	76	76	76
hidro cons	m³/MWh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3	1,3	1,3	1,3
CCS cap	m³/MWh	-	0,5	-	0,5	-	0,5	-	0,5	-	-	-	-	-
CCS cons	m³/MWh	-	0,4	-	0,4	-	0,4	-	0,4	-	-	-	-	-
Cap	m³/MWh	317	317	317	317	317	317	317	317	76	76	76	76	76
Cons	m³/MWh	1,7	2,1	1,7	2,1	1,7	2,1	1,7	2,1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Cap	MMm³/ano	1.511	1.513	2.195	2.198	2.195	2.198	1.249	1.310	452	415	1.327	432	1.181
Cons	MMm³/ano	8	10	12	15	12	15	7	9	8	7	22	7	20

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 49. Consolidação dos resultados do atributo ISDOE.

ISDOE		UTE Uruguaiana		UTE onshore		UTE offshore		UTE Mário Covas		UHE Garabi	UHE Panambi	UHE Guajará-Mirim	UHE Cachuela Esperanza	UHE Inambari
		s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS					
Área total	km ²	18	19	13	13	13	13	9	9	642	330	361	735	428
Densidade populacional	hab/km ²	22,5	22,5	250,6	250,6	0	0	189,4	189,4	21,6	21,6	0,4	2,8	2,1
Afetados	hab	416	418	3.295	3.318	-	-	1.677	1.687	13.840	7.116	144	2.059	899
Núcleo familiar	hab/fam	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,5
Famílias	fam	130	130	1.030	1.037	-	-	524	527	4.325	2.224	44	624	255
Custo de reassentamento	USD/fam ¹	95.000	95.000	95.000	95.000	95.000	95.000	95.000	95.000	95.000	95.000	95.000	95.000	95.000
Custo total	kUSD	12.352	12.395	97.824	98.516	-	-	49.782	50.080	410.878	211.255	4.159	59.278	24.262

¹ Valor original em real, mas convertido para dólar corrente a taxa de 0,19 USD/R\$.

Fonte: Adaptado de IBGE (2017, 2018), INE (2018), INEI (2018) e Soares (2017).

Tabela 50. Consolidação dos resultados do atributo Geração de Empregos.

Geração de Empregos		UTE Uruguaiana		UTE onshore		UTE offshore		UTE Mário Covas		UHE Garabi	UHE Panambi	UHE Guajará-Mirim	UHE Cachuela Esperanza	UHE Inambari
		s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS					
Tempo	anos	37	37	37	37	39	39	37	37	40	40	40	39	39
Empregos	emp/GWh	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Empregos	emp	14.165	14.165	20.587	20.587	19.531	19.531	11.715	12.266	40.292	36.956	118.338	39.462	107.950
Empregos	emp/MW	22	22	22	22	21	21	22	23	35	35	39	40	54
Emp. Implantação	emp/MW	18	18	18	18	17	17	18	19	29	29	32	33	44
Empregos – O&M	emp/MW	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6

(continua)

Geração de Empregos		UTE Uruguiana		UTE onshore		UTE offshore		UTE Mário Covas		UHE Garabi	UHE Panambi	UHE Guajará-Mirim	UHE Cachuela Esperanza	UHE Inambari
		s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS	s/ CCS	c/ CCS					
Empregos – Desc.	Emp/MW	2,4	2,4	2,4	2,4	2,2	2,2	2,4	2,6	4,7	4,7	5,5	5,6	8,1
Custo c/ Acidentes	USD/MWh	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	6x10 ⁻⁵	6x10 ⁻⁵	6x10 ⁻⁵	6x10 ⁻⁵	6x10 ⁻⁵
Acidentes fatais	Fat/TW.ano	85	85	85	85	85	85	85	85	3	3	3	3	3

(conclusão)

Fonte: Adaptado de Bacon and Kojima (2011), Baitelo (2011) e Malkawi et al., (2017).

Tabela 51. Consolidação dos resultados do atributo *Influência no Desenvolvimento Local*.

IDL		UTE Uruguiana	UTE onshore	UTE offshore	UTE Mario Covas	UHE Garabi	UHE Panambi	UHE Guajará-Mirim	UHE Cachuela Esperanza	UHE Inambari
Empregos diretos	nº	102	1 149	149	185	1184	168	480	158	320
Empregos indiretos	nº	137	198	198	113	246	224	640	211	427
Empregos Alta qualificação	nº	19	28	28	16	34	31	89	29	59
Empregos Baixa qualificação	nº	220	320	320	182	396	360	1.031	340	687
Empregos Total	nº	239	347	347	198	430	391	1.120	370	747
Massa salarial Alta qualificação	kUSD/mês	21	30	30	17	37	34	97	32	64
Massa salarial baixa qualificação	kUSD/mês	102	148	149	85	184	168	480	158	320
Massa salarial total	MMUSD/ano	1,6	2,3	2,3	1,3	2,9	2,6	7,5	2,5	5,0
Compensação Total	MMUSD/ano	4,5	6,6	6,6	3,7	5,7	5,2	16,8	5,4	14,9
Total na região	MMUSD/ano	6,1	8,9	8,9	5,1	8,6	7,8	24,3	7,9	19,9

Fonte: Adaptado de BCB (2021), Baitelo (2011), Soares (2017), ABRAGEL (ABRAGEL, 2021), INE (2018) e INEI (2018).

APÊNDICE H

Tabela 52. Classificação completa dos Atributos.

Dimensões	UTE Uru s/ CCS	UTE Uru C/ CCS	UTE on s/ CCS	UTE on c/ CCS	UTE off s/ CCS	UTE off c/ CCS	UTE Mario Covas s/ CCS	UTE Mario Covas c/ CCS	UHE Garabi	UHE Panambi	UHE Guajará- mirim	UHE Cachuela Esperanza	UHE Inambari
DAMB	0,631	0,572	0,555	0,498	0,555	0,498	0,666	0,600	0,730	0,820	0,714	0,670	0,709
Poluentes atmosféricos	0,312	0,312	0,000	0,000	0,000	0,000	0,431	0,404	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
GEE	0,982	0,998	0,969	0,993	0,969	0,993	0,987	1,000	0,666	0,695	0,000	0,682	0,112
Captação e Consumo de Recursos Hídricos	0,250	0,000	0,250	0,000	0,250	0,000	0,250	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Ocupação do Solo	0,979	0,979	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	0,996	0,255	0,587	0,855	0,000	0,726
DPOL	0,407	0,462	0,556	0,722	0,778	0,778	0,396	0,396	0,315	0,315	0,212	0,231	0,111
Disponibilidade dos RE	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,302	0,302	0,226	0,226	0,302	0,361	0,333
Apoio político	0,220	0,220	1,000	1,000	1,000	1,000	0,220	0,220	0,220	0,220	0,000	0,000	0,000
En-In	0,667	0,833	0,333	0,833	1,000	1,000	0,667	0,667	0,500	0,500	0,333	0,333	0,000
DSOC	0,405	0,405	0,360	0,360	0,472	0,472	0,176	0,176	0,487	0,567	0,998	0,638	0,861
Alteração da percepção de conforto	0,960	0,960	0,680	0,680	1,000	1,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Alteração ambiental no meio social	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Impacto social decorrente da ocupação	0,970	0,970	0,762	0,760	1,000	1,000	0,879	0,878	0,000	0,486	0,990	0,856	0,941
Geração de empregos	0,044	0,044	0,162	0,162	0,162	0,162	0,000	0,000	0,252	0,209	1,000	0,187	0,595
Influência no desenvolvimento local	0,052	0,052	0,198	0,198	0,198	0,198	0,000	0,000	0,182	0,141	1,000	0,146	0,771

(continua)

DPC-IET Ranqueado	UTE Uru s/ CCS	UTE Uru C/ CCS	UTE on s/ CCS	UTE on c/ CCS	UTE off s/ CCS	UTE off c/ CCS	UTE Mario Covas s/ CCS	UTE Mario Covas c/ CCS	UHE Garabi	UHE Panambi	UHE Guajará- mirim	UHE Cachuela Esperanza	UHE Inambari
DTEC s/ emissões	0,473	0,440	0,638	0,573	0,345	0,267	0,464	0,434	0,491	0,455	0,709	0,488	0,767
Potencial Energético	0,061	0,061	0,220	0,220	0,220	0,220	0,000	0,014	0,149	0,113	1,000	0,129	0,857
Facilidade Técnica	0,831	0,831	0,902	0,902	0,297	0,297	0,955	0,955	0,500	0,419	0,373	0,469	0,167
Confiabilidade	0,457	0,457	0,528	0,528	0,528	0,528	0,438	0,438	0,166	0,161	0,500	0,243	0,810
Domínio Tecnológico	0,867	0,767	0,633	0,367	0,333	0,000	0,867	0,767	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Custo de Geração	0,147	0,086	0,908	0,848	0,350	0,292	0,061	0,000	0,642	0,584	0,671	0,599	1,000
DTEC c/ emissões	0,636	0,619	0,652	0,603	0,468	0,405	0,645	0,630	0,495	0,476	0,575	0,503	0,591
Potencial Energético	0,061	0,061	0,220	0,220	0,220	0,220	0,000	0,014	0,149	0,113	1,000	0,129	0,857
Facilidade Técnica	0,831	0,831	0,902	0,902	0,297	0,297	0,955	0,955	0,500	0,419	0,373	0,469	0,167
Confiabilidade	0,457	0,457	0,528	0,528	0,528	0,528	0,438	0,438	0,166	0,161	0,500	0,243	0,810
Domínio Tecnológico	0,867	0,767	0,633	0,367	0,333	0,000	0,867	0,767	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Custo de Geração	0,964	0,979	0,978	1,000	0,961	0,983	0,965	0,977	0,659	0,686	0,000	0,673	0,121

(conclusão)

Fonte: Elaborado pelo autor.