

OS RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVÁVEIS NÃO DEPLETÁVEIS E A
CONTABILIDADE DOS ATIVOS AMBIENTAIS

Gabriela Cavalcanti de Araujo Martins

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético e Ambiental, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético e Ambiental.

Orientador: Amaro Olimpio Pereira Junior

Rio de Janeiro

Março de 2024

OS RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVÁVEIS NÃO DEPLETÁVEIS E A
CONTABILIDADE DOS ATIVOS AMBIENTAIS

Gabriela Cavalcanti de Araujo Martins

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Orientador: Amaro Olimpio Pereira Junior

Aprovada por: Prof. Amaro Olimpio Pereira Junior

Prof. André Frossard Pereira de Lucena

Prof^a. Claude Adélia Moema Jeanne Cohen

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2024

Martins, Gabriela Cavalcanti de Araujo.

Os recursos energéticos renováveis não depletáveis e a contabilidade de ativos ambientais / Gabriela Cavalcanti de Araujo Martins. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2024.

VIII, 88 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Amaro Olimpio Pereira Junior

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2024.

Referências Bibliográficas: p. 81-88.

1. Contas econômicas e ambientais. 2. Recursos energéticos renováveis. 3. Valoração de ativos ambientais.
I. Pereira Junior, Amaro Olimpio. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

OS RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVÁVEIS NÃO DEPLETÁVEIS E A CONTABILIDADE DOS ATIVOS AMBIENTAIS

Gabriela Cavalcanti de Araujo Martins

Março/2024

Orientador: Amaro Olimpio Pereira Junior

Programa: Planejamento Energético

Diante da promoção do investimento em fontes de energia renovável como parte das estratégias para transição energética e políticas de desenvolvimento sustentável, discute-se no âmbito internacional a possibilidade de reconhecimento dos recursos de energia renováveis não depletáveis nas contas de ativos não produzidos. Objetiva-se, com a mencionada proposta em discussão, um aprimoramento da contabilidade ambiental e da riqueza através de maior equilíbrio de tratamento para os energéticos renováveis, tendo em vista que os recursos minerais e fósseis são historicamente reconhecidos como ativos nessas contas. Seguindo a abordagem de valoração utilizada para recursos minerais e energéticos não renováveis - o método do valor residual/valor presente – o estudo aplicou o método para os recursos energéticos solar, eólico e hídrico para o Brasil, com o objetivo de testar a proposta experimental no âmbito das contas econômicas ambientais. Para os recursos solar e eólico, o emprego do método resultou em valores negativos. Por outro lado, para a hidroeletricidade, os valores encontrados foram positivos e significativos, permitindo a valoração monetária do ativo energético renovável hídrico. Análises de sensibilidade foram realizadas para auxílio na crítica dos resultados. Para contextualização, o trabalho discorre sobre o histórico; as contas ambientais e classificação dos recursos energéticos renováveis; sobre as questões teóricas e práticas envolvidas com o método proposto; descreve as principais abordagens históricas de valoração de ativos ambientais; apresenta informações gerais do mercado elétrico e de aspectos técnicos e econômicos relacionados às energias renováveis.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

NON DEPLETABLE RENEWABLE ENERGY RESOURCES AND THE ENVIRONMENTAL ASSETS ACCOUNTING

Gabriela Cavalcanti de Araujo Martins

March/2024

Advisor: Amaro Olimpio Pereira Junior

Department: Energy Planning

In view of the promotion of investment in renewable energy sources as part of strategies for energy transition and sustainable development policies, the possibility of recognizing non-exhaustible renewable energy resources in accounts of non-produced assets is discussed at the international level to upgrade environmental and wealth accounting. The aim of the proposal under discussion is to achieve greater balance in the way renewable energy is reckoned, since mineral and fossil energy resources are historically recognized as assets in such accounts. Following the valuation approach used for non-renewable mineral and energy resources - the residual value/present value method - the study applied it to solar, wind and hydro energy resources for Brazil, with the aim of testing the experimental proposal for environmental economic accounts. The applied method resulted in negative values for solar and wind resources. However, for hydroelectricity, the values found were positive and significant, enabling asset monetary valuation for hydro renewable energy. Sensitivity analyses were performed to aid in the interpretation of the results. For context, the work discusses the history of environmental accounts and classification of renewable energy resources; the theoretical and practical issues involved with the proposed method; describes the main historical approaches to valuing environmental assets; presents general information on the electricity market along with technical and economic aspects related to renewable energy.

Sumário

Introdução	1
Capítulo 1. A contabilidade ambiental e os métodos de valoração	9
1.1 Estrutura das Contas Econômicas Ambientais.....	14
1.2. Os métodos de valoração e a abordagem do capital para recursos naturais	17
1.3 A questão da valoração de ativos ambientais	19
1.4 Principais abordagens utilizadas.....	20
Capítulo 2. Revisão de literatura dos métodos de valoração dos recursos energéticos	26
2.1 A renda de recursos (resource rent)	26
2.2 Histórico de valoração dos recursos naturais depletáveis	29
2.3 Os recursos energéticos renováveis não depletáveis	36
Capítulo 3. Noções do mercado elétrico e das fontes renováveis	49
3.1 Informações gerais do mercado elétrico	49
3.2 Recurso energético solar	54
3.3 Recurso energético eólico.....	55
3.4 Recurso energético hídrico	57
Capítulo 4. Metodologia e resultados	62
4.1 Receitas.....	62
4.2 Tributos e subsídios específicos	64
4.3 Custos de operação e manutenção e custos de capital	65
4.4 Resultados.....	72
Conclusão	77

Lista de Figuras

Figura 1 Classificação dos ativos ambientais: visão mais ampla	12
Figura 2 Valor dos ativos energéticos hídricos brasileiros entre 1995 e 2017 (CWON 2021)	47
Figura 3 Esquema do mercado de energia elétrica no Brasil.	51
Figura 4 Evolução da capacidade instalada das hidrelétricas por tipo	59
Figura 5 Vida útil de equipamentos e estruturas de usinas hidrelétricas	61
Figura 6 Sensibilidade da RR unitária solar média à taxa de retorno do capital	73
Figura 7 Sensibilidade da RR unitária eólica média à taxa de retorno do capital	74
Figura 8 Sensibilidade da RR unitária hidroelétrica média à taxa de retorno do capital	74

Lista de tabelas

Tabela 1 Classificação dos recursos naturais: visão tradicional	10
Tabela 2 Classificação dos insumos naturais – SEEA	13
Tabela 3 Estimativa da RR pelo método RVM	23
Tabela 4 Estrutura de tabela para conta de ativos de recursos minerais e energéticos	30
Tabela 5 Informações da Matriz Elétrica Brasileira em 2022 por fonte.....	49
Tabela 6 Evolução da capacidade instalada por região – Solar	54
Tabela 7 Evolução da capacidade instalada por região – Eólica onshore.....	56
Tabela 8 Evolução da capacidade instalada por região – Hidroeletricidade.....	58
Tabela 9 Comparativos de taxas de referência para 2021	70
Tabela 10 Parâmetros: depreciação, vida útil e taxa de retorno do capital fixo (K)	71
Tabela 11 RR: Resultados médios 2019-2021.....	72
Tabela 12 Variação da RR média em relação às taxas de retorno do capital fixo	73
Tabela 13 Valor do ativo energético hídrico (média 2019-2021)	75
Tabela 14 Valor alternativo do ativo energético hídrico (média 2019-2021) - PLD	76

Introdução

O século XXI está marcado por profundos e complexos desafios. Crises e conflitos se retroalimentam, sejam de ordem ambiental, geopolítica e econômica, com impactos no aumento da pobreza e desigualdades. A gravidade desses problemas tem levado ao questionamento do modelo socioeconômico dominante. Os efeitos e riscos associados ao agravamento da crise climática, do aumento da poluição e da perda de biodiversidade estão sendo percebidos. Diante das evidências do impacto das atividades econômicas sobre o meio ambiente em escala local e global, há um crescente reconhecimento de que o próprio desempenho econômico e o bem-estar humano dependem e são beneficiados pelos serviços prestados pelo meio-ambiente.

A evolução da pesquisa nas ciências naturais e econômicas sobre recursos naturais e meio ambiente aliada aos esforços das políticas ambientais possibilitaram mais ferramentas analíticas para compreensão dos crescentes e complexos problemas ambientais. Ao mesmo tempo, há muitas lacunas de dados e informações para aprofundar o entendimento e impacto desses fenômenos, e que poderiam auxiliar no suporte e monitoramento das políticas públicas dos diversos países.

Ao longo do tempo, o foco econômico dos estudos e das estatísticas relacionadas aos recursos naturais passou por significativas transformações, moldadas pelas preocupações predominantes em cada época.

Durante a fase que vai de aproximadamente entre o final do século XIX até meados da década de 70 do século XX, havia um foco mais limitado à análise do uso ótimo de determinados recursos não renováveis e aqueles renováveis sujeitos a depleção se sobre explorados. Tratam-se dos recursos naturais relacionados às commodities tipicamente transacionadas no mercado, tais como os insumos de matéria-prima e energia com preços de mercado.

Barbier (2021) distingue uma fase que vai da década de 1950 até a década de 1970, que ele denomina de “Era do Esgotamento de Recursos”. Aponta que a preocupação principal estava focada nos “limites” físicos e disponibilidade de recursos naturais à medida que as economias se expandiam e as populações cresciam.

A discussão da segunda fase, que ganhou mais visibilidade¹ no pós 70 do século XX, questionou as ferramentas tradicionais de política econômica em lidar com fenômenos de poluição e degradação em larga escala, analisando os custos sociais não internalizados na estrutura de custo/preços existente na economia.

O resultado do aumento da produção econômica em escalas local e global leva ao desmatamento, poluição de bacias hidrográficas, desertificação entre outros sérios problemas ambientais. A explicação teórica é que como não há um sistema de preços que sinalize o aumento de escassez desses recursos, não há incentivo para uma alocação eficiente, ou seja, para sua preservação. Como resultado, eles são levados a uma sobre-exploração com graves danos à qualidade e exaustão ambiental.

É também nesse período, a partir da década de 70, que trabalhos na área de contabilidade ambiental ganham maior destaque, contando com iniciativas de vários governos nacionais de países desenvolvidos. Os primeiros exercícios de contabilidade dos recursos naturais como complemento ou ajuste das atuais medidas de desempenho econômico iniciaram, de forma não integrada, em países como França, Noruega, Japão e outros, através de estatísticas e outros trabalhos relacionando economia e meio-ambiente.

Grande parte desses trabalhos foi desenvolvida no contexto das políticas de gerenciamento do estoque de recursos naturais como ferramenta de desenvolvimento, enquanto outras focaram na medição dos efeitos de danos ambientais em estudos de impacto, dos gastos ambientais e das tecnologias de abatimento da poluição (ALFSEN *et al.*, 1987; EL SERAFY, 1989; THEYS, 1989). Ao mesmo tempo havia iniciativas das instituições no âmbito da UN em programas destinados a compilar dados físicos ambientais e de recursos naturais dos países.

A partir dos anos 80, uma série de novas iniciativas organizadas pelas Nações Unidas (UN) para uma maior coordenação internacional da agenda ambiental aprofundou a discussão da qualidade do crescimento e da contabilidade ambiental para o enfrentamento das tendências crescentes de degradação da natureza. Esses trabalhos conjuntos² promoveram estudos e exercícios experimentais para a viabilidade e difusão da contabilidade física e monetária de recursos naturais e do meio ambiente. Inúmeras publicações foram produzidas com vistas à internalização do

¹ Por exemplo, as discussões no âmbito da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano de 1972 e a Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED, 1987).

² UN Divisão de estatísticas (UNSD), a UN Meio Ambiente (UNEP), o Banco Mundial, entre outras instituições e governos, com destaque aos países da OCDE.

meio ambiente na contabilidade macroeconômica padrão (REPETTO *et al.*, 1989; UN *et al.*, 2014).

Já em 1987, o relatório ‘Nosso Futuro Comum’ da Comissão Brundtland³ se destacou como um importante marco para disseminar a ideia de desenvolvimento sustentável, definindo-o pela ideia de garantir às necessidades do presente sem comprometer a as necessidades das gerações futuras (UN, 1987). Tratou-se de uma reformulação do próprio conceito de desenvolvimento. Com isso, a necessidade de clarificar este conceito bem como as metodologias para a sua avaliação prática foram e continuam sendo recorrentemente enfatizadas em trabalhos acadêmicos, em conferências e seminários internacionais.

Em 1992, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), conhecida como Rio 92, no Rio de Janeiro. Com participação ampla de importantes atores de diversos países, a conferência teve grande impacto na política internacional. Como resultados, foram elaborados cinco documentos oficiais. Dentre eles, destaca-se a Agenda 21, que traça um plano de ação para alcance do desenvolvimento sustentável até a virada do século. O documento ainda recomendou que os países priorizassem medidas para a implementação das chamadas contas econômicas ambientais (UN *et al.*, 2014).

Em 1993, consolidando as demandas da Rio 92 e toda troca de experiências acumuladas dos países e órgãos multilaterais, foi publicado pela Comissão de Estatística das Nações Unidas o Sistema padronizado das Contas Econômicas Ambientais (SEEA)⁴. Com revisões posteriores, até sua versão mais recente⁵, o Sistema de Contas Econômicas Ambientais 2012 – Marco Central (SEEA CF)⁶ buscou o estabelecimento de um padrão estatístico internacional para contabilidade ambiental oficial.

Grande parte da discussão relacionada à contabilidade ambiental – e do desenvolvimento do SEEA - foi motivada pelo crescente questionamento sobre o foco demasiado em indicadores econômicos como o Produto Interno Bruto (PIB) para o desenho de políticas públicas e tomada de decisões. As principais críticas se referem

³ Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (World Commission on Environment and Development - WCED).

⁴ System of Environmental-Economic Accounting.

⁵ Produzida e divulgada pela Organização das Nações Unidas, da Comissão Europeia, da Food and Agriculture Organization (FAO) das Nações Unidas, da Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OCDE), do Fundo Monetário Internacional (FMI) e do Banco Mundial.

⁶ Além do SEEA Central Framework, outros manuais mais específicos também foram publicados, incluindo, o SEEA-Água e o SEEA-Energia e, mais recentemente, a última versão (2021) do SEEA – Contabilidade Ecossistêmica (SEEA – CE).

à limitação do PIB como medida de qualidade de vida, prosperidade e sustentabilidade dos países. Influenciado por fatores variados, o PIB não capta a qualidade (ou falta de) do crescimento econômico (VEIGA, 2019).

O PIB é um indicador agregado e faz parte das chamadas Contas Nacionais. O Sistema de Contas Nacionais (SNA)⁷, desenvolvido pela ONU, fornece o padrão internacional ou quadro estrutural de estatísticas macroeconômicas para os países compilarem as contas nacionais.

Embora as contas nacionais tenham uma longa história, seu aprimoramento e difusão são impulsionados a partir da Grande Depressão dos anos 30 e Segunda Guerra Mundial, com a necessidade de mais dados e informações sistematizadas que possibilitassem melhor planejamento e formulação de políticas econômicas (HALLAK NETO e FORTE, 2017). Dado o contexto da época, marcado pela guerra e subsequente reconstrução, grande ênfase foi dada na mensuração da produção mercantil de bens e infraestrutura materiais, com influência no desenvolvimento do SNA (VEIGA, 2019).

Apesar disso, é preciso mencionar diversas iniciativas do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) como a iniciativa *Beyond GDP* para desenvolvimento um conjunto de indicadores que oferecem uma visão mais ampla sobre questões ambientais, sociais e de desenvolvimento sustentável (UN *et al.*, 2014). As discussões da agenda *Beyond GDP*, em curso, contaram com as importantes contribuições da ampla e multidisciplinar comissão conhecida como Stiglitz-Sen-Fitoussi, cujo trabalho listou uma série de recomendações sobre a necessidade de direcionar os indicadores econômicos para medidas de bem-estar e sustentabilidade (STIGLITZ *et al.*, 2009). Mais atualmente, o Secretário-Geral das Nações Unidas, em *Our Common Agenda*, pediu novas medidas de progresso para complementar o PIB de forma a “transformar a forma como vemos e valorizamos a natureza” (UN, 2023).

Conforme mencionado, desde o relatório de Brundtland, surgiram diversos trabalhos na busca de desenvolver o conceito de desenvolvimento sustentável⁸. Uma definição operacional amplamente difundida é a que atribui como sustentável uma

⁷ System of National Accounts.

⁸ Os termos "sustentabilidade" e "desenvolvimento sustentável" são frequentemente empregados de forma intercambiável e nesse trabalho, são usados com significação próxima. A ideia de sustentabilidade abrange uma gama de objetivos econômicos, ambientais e sociais combinados.

trajetória econômica na qual o bem-estar⁹ não diminui. Outra definição relaciona sustentabilidade - ou um caminho sustentável - como sendo aquele em que o estoque de ativos é gerido de forma a pelo menos manter as oportunidades futuras. (PEZZEY, 1992). Essa perspectiva do desenvolvimento sustentável é conhecida como *capital approach to sustainability* (ARROW *et al.*, 2012; BARBIER, 2019).

A ligação entre o estoque de ativos - nível de riqueza real - e o bem-estar está fundamentada no entendimento de que o valor de um ativo reflete os ganhos ou benefícios que ele é capaz de gerar ao longo do tempo. Logo, o estoque de capital de uma economia é entendido como base necessária para a geração de renda e bem-estar futuro (ARROW *et al.*, 2012).

Para compreender melhor a conexão feita entre o estoque de capital, base para a renda e bem-estar, e o desenvolvimento sustentável, é fundamental qualificar o estoque agregado de capital abrangido por essa abordagem.

O termo 'estoque de capital' é historicamente associado aos ativos reais produzidos¹⁰ como estradas, ferrovias, edifícios, fábricas, máquinas, equipamentos e outros ativos fixos manufaturados.

Esse entendimento mais estreito sobre o que constitui a base da riqueza de uma nação vai sendo modificado, passando gradativamente a reconhecer visões alternativas de 'capital' como, por exemplo, os recursos naturais (capital natural), e o conjunto de habilidades, saúde e educação incorporadas na força de trabalho (o capital humano)¹¹. Essas duas categorias podem ser desmembradas em outras categorias ampliadas de capital, como o capital social ou institucional, o capital intelectual ou de conhecimento acumulado (ciência e tecnologia), entre outras. (UNEP, 2012; WORLD BANK, 2018). A delimitação dessas categorias não é rígida e depende, sobretudo, do interesse analítico e prático.

Nesse contexto de uma visão mais ampla do capital, a sustentabilidade é apresentada através da ideia de gestão adequada de um '*portfólio*' de riqueza¹² (que considera o capital natural) a ser bem administrado para as gerações atual e futura

⁹ Bem-estar baseado em consumo, mas bem-estar também envolve renda e sua distribuição, qualidade do emprego, além de outras questões mais subjetivas como tempo de lazer, senso de segurança, de pertencimento à comunidade e etc. (STIGLITZ *et al.*, 2009).

¹⁰ Também chamado de capital reproduzível ou manufaturado. No SNA 2008, esses ativos produzidos incluem também os ativos intangíveis, como os produtos de propriedade Intelectual e etc.

¹¹ Ver as publicações: Inclusive Wealth Report (UN) e Changing Wealth of Nations (CWON) (WORLD BANK).

¹² Ideia já presente, por exemplo, em Repetto *apud* Pezzey (1992) com a ideia de que os sistemas econômicos devem ser geridos de modo a "viver" dos dividendos, mantendo e melhorando a base agregada de ativos.

(DASGUPTA, 2021). Sintetizando a ideia, o estoque de ativos ser produzido ou natural passa a ser uma distinção entre os tipos de capital e não da definição de capital em si.

O trabalho de aprimoramento das contas econômicas e ambientais é contínuo. Dentre as discussões mais recentes está a inclusão dos recursos energéticos renováveis - compreendendo a energia hidroelétrica, a eólica, a solar e a geotérmica e outras - no conjunto dos ativos ambientais no escopo do SEEA e SNA.

Esses recursos foram pouco abordados no SNA e no SEEA. Há diversas razões para essa lacuna, dentre as quais se pode citar o foco histórico no problema imediato da escassez, seja relativa ou absoluta, traduzido no esforço de medição da depleção/degradação dos recursos naturais (esses recursos são considerados não exauríveis). Além disso, a menor literatura, publicações e pesquisas empíricas sobre valoração desses recursos contribuem para a carência de dados em muitos países (WORLD BANK, 2021).

Nos próximos anos, é esperado que as economias avancem na transição energética e ecológica, através de políticas de desenvolvimento sustentável e atendimento às necessidades globais de descarbonização.

Essa mudança requererá um investimento de capital substancial, bem como um importante desinvestimento na forma de descomissionamento da infraestrutura existente relativa aos fósseis ao longo das próximas décadas. São comuns os argumentos de que investimentos em renováveis não possuem o risco de capital associado à produção de origem fóssil, cujos ativos podem se tornar antieconômicos¹³ devido a futuras regulamentações relacionadas às mudanças climáticas (IRENA, 2017).

Dessa forma, além da discussão relacionada aos fatores e complexidades da transição dos fósseis, também debate-se a promoção do uso de recursos de energia renovável juntamente com o aprimoramento de tecnologia e infraestrutura necessárias para a transformação dessas fontes em formas aproveitáveis e competitivas (SETO *et al.*, 2016).

Nesse contexto, a ausência dos energéticos renováveis não depletáveis na atual fronteira de ativos do SNA é vista com preocupação diante da necessidade e exigência de avaliação da sustentabilidade ambiental das economias. Uma vez que os

¹³ Esses ativos antieconômicos são usualmente chamados de "*stranded assets*". Os *stranded assets* são ativos que sofreram desvalorização, baixa ou foram convertidos em passivos de forma imprevista ou prematura (BARON e FISCHER, 2015). Outras definições podem ser encontradas em IRENA (2017).

recursos energéticos não renováveis estão incluídos no limite de ativos do SNA, há um desequilíbrio na forma como as contas nacionais tratam esses dois tipos de recursos energéticos. Mais especificamente, poderá haver cada vez maior assimetria entre o valor dos ativos reconhecidos na conta de capital e a receita medida na conta de produção, à medida que os mercados de energia renovável continuem a se desenvolver e ganhar penetração na matriz elétrica (WORLD BANK, 2021).

Nesse contexto, o trabalho tem como o objetivo testar a abordagem de valoração atualmente mais utilizada – o método do valor residual/valor presente - para as fontes energéticas renováveis eólica, solar e hídrica. São analisadas as questões teóricas e práticas do método proposto e faz-se uma descrição das principais abordagens históricas de valoração de ativos – incluindo a dos não renováveis, que serviram de base para o método atualmente proposto aos renováveis.

Além desta parte introdutória, o primeiro capítulo inicia apresentando algumas classificações usuais para compreensão dos componentes do meio ambiente e recursos naturais, abordando como os recursos energéticos renováveis são contextualizados dentro dessas estruturas de classificação e contábeis. Em seguida, faz uma síntese das contas econômicas ambientais na estrutura do SNEA, introduzindo em termos conceituais e práticos sobre o tema da valoração dos recursos naturais e métodos mais recomendados, com destaque para o valor residual/valor presente.

O capítulo 2, por sua vez, apresenta os métodos de valoração dos recursos energéticos e as principais abordagens historicamente utilizadas que serviram de base para o valor residual/VPL, partindo da discussão dos recursos não renováveis até chegar aos energéticos renováveis não depletáveis. Apresenta ainda, uma revisão da literatura associada aos energéticos renováveis.

Já o capítulo 3 faz apresenta um breve panorama do mercado elétrico brasileiro, dos recursos renováveis, tecnologias e infraestrutura referentes às fontes avaliadas. Com isso, busca trazer os elementos essenciais para compreensão das informações utilizadas na aplicação do método para estimativa do *resource rent* e valoração desses ativos energéticos renováveis.

Já o capítulo 4 descreve a metodologia empregada no exercício de valoração, trazendo as informações, premissas e etapas necessárias à aplicação do método do valor residual/valor presente. Em seguida, apresenta e analisa os resultados obtidos.

Por fim, o capítulo de conclusão sintetiza as ideias centrais do estudo, identificando as principais limitações e lacunas, propondo sugestões para aprimoramentos em trabalhos futuros.

Capítulo 1. A contabilidade ambiental e os métodos de valoração

A classificação dos recursos naturais é fundamental no contexto da economia e contabilidade ambiental. As classificações podem ser feitas de acordo com o objetivo de análise, podendo focar em aspectos diversos, como a “essencialidade” do recurso, o direito de propriedade do recurso, existência de mercado, de acordo com sua renovabilidade e etc.

Foram selecionadas algumas classificações usuais no desenvolvimento das contas ambientais para facilitar a compreensão das energias renováveis como parte integrante desse universo.

Durante o período inicial de desenvolvimento das contas ambientais, os recursos naturais foram distinguidos em dois grandes grupos (LONGVA, 1981):

- a) os **recursos naturais materiais**, e
- b) os **recursos naturais ambientais**.

Essa distinção classificativa é baseada no sistema de classificações proposto pela Noruega, um dos países pioneiros no âmbito no desenvolvimento de um sistema de contabilidade ambiental¹⁴. A Tabela 1 apresenta essa classificação.

Os recursos naturais materiais são aqueles que servem de matéria-prima e energia para produção de bens e serviços. Incluem, por exemplo, os recursos florestais madeireiros, os pesqueiros e os recursos minerais e energéticos.

Já os recursos naturais ambientais representam o meio de suporte à vida. A sociedade e as atividades econômicas ocupam espaço e afetam o meio ambiente de diferentes maneiras. Esses recursos servem como depuradores e absorvedores de resíduos decorrentes das atividades humanas.

Os recursos naturais materiais se diferenciam dos recursos ambientais em muitos aspectos. Um deles, numa perspectiva contábil, distingue os recursos materiais como aqueles que são canalizados diretamente para o processo de produção e consumo. Já os recursos ambientais fluem de forma mais indireta e difusa no suprimento das necessidades produtivas, sendo alterados qualitativamente pelo processo de produção e consumo. Um mesmo recurso pode ser classificado de formas distintas, como por

¹⁴ O sistema de contabilidade ambiental norueguês foi oficialmente estabelecido em 1974 (LONGVA, 1981).

exemplo, o meio atmosférico, ou ar, é um recurso natural ambiental (de estado), em contraposição ao vento, um recurso material (de fluxo).

Finalmente, para a análise dos recursos naturais de acordo com sua capacidade de renovabilidade, pode-se verificar ainda na Tabela 1 que eles são divididos em três níveis: renováveis, condicionalmente renováveis e não renováveis. Enquanto os recursos naturais ambientais têm sempre sua capacidade de renovação sujeita a condições ou limites, os recursos naturais materiais englobam recursos com os três níveis de renovabilidade.

Dentro dessa classificação, observa-se que os recursos utilizados para fins energéticos são considerados recursos naturais materiais. Inclui-se, por exemplo, o recurso solar, eólico, o hídrico e também os recursos energéticos de origem fóssil.

Tabela 1 Classificação dos recursos naturais: visão tradicional

Classificação econômica	Classificação física	Propriedades físicas
Recursos materiais	Recursos minerais:	não-renováveis
	- elementos químicos	
	- minerais	
	- hidrocarbonetos	
	- pedras, cascalho e areia	condicionalmente renováveis
	Recursos biológicos (vida):	
	- no ar/atmosfera	
	- na água	
	- sob a terra e subterrâneos	renováveis
	Recursos de "fluxo" (<i>inflowing resources</i>):	
- radiação solar		
- o ciclo hidrológico		
- vento	condicionalmente renováveis	
- ondas e correntes oceânicas		
Recursos de "estado" (<i>status resources</i>):		
- ar/atmosfera		
- água	condicionalmente renováveis	
- solo		
- espaço		

Fonte: Elaboração própria com base em LONGVA (1981).

Outra forma usual de classificação separa os recursos naturais entre (PERMAN *et al.*, 2003):

- a) **recursos de estoque;** e
- b) **recursos de fluxo.**

Os recursos de estoque têm a característica de que seu uso hoje tem implicações quanto à sua disponibilidade no futuro. Essa categoria contempla dois casos: os recursos minerais e fósseis não renováveis e também os recursos biológicos - que tem a capacidade de se reproduzirem biologicamente. No primeiro caso o estoque é fixo, no segundo o estoque pode variar para mais ou para menos, dependendo das condições naturais do ambiente e de gestão desses recursos. Dessa forma, os chamados recursos de estoque compreendem não só os recursos não renováveis, mas também os recursos (condicionalmente) renováveis, pois estão sujeitos à exaustão se colhidos a uma taxa superior a sua capacidade de regeneração por um período longo o suficiente.

Por outro lado, os recursos de fluxo possuem a característica de que seu uso hoje não tem nenhuma vinculação com a sua disponibilidade futura. (PERMAN *et al.*, 2003). Eles ainda têm a característica adicional de que sua oferta é menos controlável pelo homem, apresentando, geralmente, maior intermitência de oferta.

Os recursos de estoque estão associados às duas primeiras divisões da classificação tradicional da Tabela 1 - recursos materiais não renováveis (minerais e fósseis) e aos recursos condicionalmente renováveis (biológicos). Também é possível associá-los aos recursos ambientais. Já os recursos de fluxo são comuns às duas classificações.

Por fim, a Figura 1 a seguir traz uma classificação mais atual e abrangente dos recursos naturais e ambientais. Sintetiza, assim, a visão dos manuais mais recentes das contas econômico-ambientais (as contas ecossistêmicas).

A Figura 1 distingue três categorias principais, que são os:

- 'ativos do subsolo' (estoque), caracterizados por serem não renováveis, logo depletáveis;
- 'fluxos abióticos', considerados renováveis e não depletáveis; e
- 'ecossistemas', divididos em ativos (estoque) e serviços (fluxos), sendo, apesar de renováveis, sujeitos à depleção.

Os ativos do subsolo são os recursos naturais materiais não renováveis da primeira classificação. Já os fluxos abióticos são os recursos de fluxo. Por fim, a terceira categoria - os ativos e serviços ecossistêmicos - dialogam tanto com os recursos ambientais quanto com os recursos materiais (biológicos).

Capital natural			
Ativos do subsolo:	Fluxos abióticos:	Ecosistema como ativo:	Ecosistema como fluxos de serviços:
(recursos geológicos)	(ligados aos ciclos geofísicos)	(ligados aos processos e sistemas ecológicos)	
Minerais, elementos da terra, combustíveis fósseis, cascalho, sais, etc.	Solar, eólico, hidro, geotermal, etc.	Estrutura e condição	Provisão, regulação e manutenção, culturais, etc.
Não-renováveis e depletáveis	Renováveis e não depletáveis	Renováveis e depletáveis	

Figura 1 Classificação dos ativos ambientais: visão mais ampla
 Fonte: Elaboração própria com base em EEA *apud* MAES *et al.* (2013).

Um ponto de divergência que chama a atenção nas classificações apresentadas se refere ao entendimento entre estoque e fluxo. No caso dos recursos biológicos, enquanto a Tabela 1 não faz esse tipo de separação, na segunda forma de classificação apresentada, eles foram apresentados como recursos de estoque. Porém, na terceira forma de classificação apresentada (Figura 1) os recursos biológicos podem ser considerados em suas dimensões de fluxo (enquanto serviços) e de estoque (enquanto ativos). Esse ponto é importante para ressaltar que as categorizações possuem certa fluidez dependendo do foco de análise e objetivo. O mesmo pode ocorrer, por exemplo, no caso dos próprios recursos minerais e energéticos, que, apesar de não renováveis, podem ser analisados como estoque (reservas), mas também como fluxos extraídos para a produção das atividades econômicas.

Por fim, apresenta-se a Tabela 2 a seguir, presente no manual SEEA - CF (UN *et al.*, 2014). O objetivo de inclusão desta tabela é apenas para reforçar o aspecto de classificação pela ótica de insumos extraídos, captados ou aproveitados pelas atividades produtivas, são 'insumos naturais' (*natural inputs*). Essa classificação separa ainda os **insumos de recursos naturais** dos **insumos de energia renovável**.

- a) insumos de recursos naturais;
- b) insumos de energia de fontes renováveis; e
- c) outros insumos naturais.

A classe **insumos de energia de fontes renováveis** compreende as fontes não combustíveis de energia fornecidas pelo meio ambiente, separados de acordo com a fonte. Inclui a energia solar, energia hidráulica, energia eólica, energia das ondas e energia geotérmica. Já os insumos como lenha e outras biomassas para fins energéticos, embora renováveis, não estão incluídos nessa classe, mas na classe **outros insumos naturais**.

Tabela 2 Classificação dos insumos naturais – SEEA

1. Insumos de recursos naturais	
1.1	Extração utilizada na produção
1.1.1	Recursos minerais e energéticos
1.1.1.1	Petróleo
1.1.1.2	Gás Natural
1.1.1.3	Carvão mineral e variantes
1.1.1.4	Outros minerais não metálicos
1.1.1.5	Minerais metálicos
1.1.2	Recursos do solo
1.1.3	Recursos madeiros
1.1.4	Recursos naturais aquáticos
1.1.5	Outros recursos naturais biológicos
1.1.6	Recursos hídricos
1.1.6.1	Água superficial
1.1.6.2	Água subterrânea
1.1.6.3	Água de solo
1.2	Resíduos dos recursos naturais
2. Insumos de energia de fontes renováveis	
2.1	Solar
2.2	Hídrico
2.3	Eólico
2.4	Ondas e marés
2.5	Geotermal
2.6	Outras fontes de eletricidade e calor
3. Outros insumos naturais	

Fonte: UN *et al.* (2014).

O manual SEEA-Energia (UN *et al.*, 2019), que utiliza classificação similar, faz a distinção entre os energéticos renováveis em depletáveis e não depletáveis. A biomassa¹⁵ está na categoria dos depletáveis. Cabe reforçar que um recurso depletável não é necessariamente sinônimo de um recurso não renovável. Apesar de

¹⁵ São considerados ciclicamente renováveis, cujo tempo e a gestão adequada são fundamentais para a reposição desses insumos (crescimento e reprodução demandam tempo) (UN *et al.*, 2019).

as fontes não renováveis serem sempre depletáveis, as fontes renováveis podem ser de tipo depletável ou não.

De acordo com a análise das formas de classificação apresentadas acima, vale reforçar que as características de “fluxo” e de **não depletabilidade** são marcantes para a identificação das fontes energéticas renováveis como a hídrica, a eólica, solar, objeto deste trabalho.

A seguir serão abordadas as informações gerais das contas econômicas ambientais e as contas de ativos no âmbito do SNA e SEEA.

1.1 Estrutura das Contas Econômicas Ambientais

O Sistema de Contas Econômicas Ambientais (SEEA) fornece uma estrutura conceitual baseada em um sistema regras e classificações contábeis, permitindo a organização de informações em tabelas e contas, de forma integrada e conceitualmente coerente. O escopo e estrutura do SEEA são similares ao do SNA, seguindo, via de regra, os mesmos princípios e regras contábeis.

Apesar de sua estrutura padronizada, ele é flexível na apresentação das informações, o que possibilita certa adaptação às realidades de cada país. Unindo dados econômicos e ambientais, permite a elaboração de estatísticas e indicadores híbridos, objetivando servir de suporte e orientação para análises, pesquisa e formulação de políticas públicas.

As contas do SEEA permitem a visualização contábil, seja em termos físicos ou monetários, de como os recursos naturais fluem para a economia e como resíduos são gerados no processo de produção e consumo. Além das contas de fluxo de recursos naturais materiais, energia e resíduos, o SEEA também contempla as contas de estoque de ativos ambientais.

Como mencionado anteriormente, o SEEA resultou de longa discussão e acúmulo de experiência dos vários países envolvidos e instituições intergovernamentais. Um dos seus variados propósitos pode-se citar o de encontrar formas para contabilizar a depleção e ou degradação¹⁶ dos recursos naturais e meio ambiente.

¹⁶ Causados pelas emissões poluentes, por exemplo. O cálculo da degradação envolve questões qualitativas e outros aspectos específicos que fogem ao objetivo deste trabalho e por isso não será tratado.

O SNA padrão é composto pelas chamadas contas de fluxos e contas de estoques. O PIB, um indicador de fluxo, mede a soma de todo valor adicionado gerado pelas atividades econômicas em um período contábil, indicando o quanto de produto ou renda um país gera. Já a conta de estoques agregada¹⁷ evidencia o valor corrente de seu patrimônio (a riqueza nacional), entendida como a base produtiva de um país, em diferentes pontos no tempo. O PIB e a conta de estoques são, portanto, indicadores complementares, fornecendo um quadro mais amplo de informações para avaliação do desempenho estrutural de uma economia.

A variável de fluxo dos estoques é chamada de formação bruta de capital fixo (FBCF), mensurada, majoritariamente, pelos gastos ou incrementos nos ativos. Além da FBCF, existe o elemento de fluxo que diminui o valor dos ativos reais produzidos, refletindo seu uso ao longo do tempo – o consumo de capital fixo (CCF).

Através das contas complementares no âmbito do SEEA, a proposta era a dedução monetária da depleção/degradação nos macro-indicadores de fluxo para representar o dano ou custo ambiental sofrido. Como resultado dessas discussões, a última versão do SEEA determina que a depleção deve ser registrada de forma semelhante ao tratamento do capital produzido fixo no SNA, em que deve haver uma dedução para CCF. Utilizando o PIB como exemplo, após a dedução do CCF, chega-se ao produto interno líquido (PIL). Da mesma forma, deduzido para a depleção o resultado seria o ‘PIL ajustado pela depleção’.

O SEEA define depleção (em termos físicos) como a redução na quantidade do estoque de um recurso natural durante em um intervalo de tempo que se deve à extração do recurso natural. Para os recursos biológicos, a extração que excede a taxa de reposição natural corresponde à depleção. Ou seja, a extração, para ser considerada depleção, deve ocorrer em um nível superior ao de sua regeneração. Para recursos não renováveis, toda extração constitui depleção.

Outras propostas focam na construção nas contas de ativos ambientais, (expansão do escopo desses ativos) em termos físicos e monetários.

A conta de ativos ambientais do SEEA segue a mesma estrutura da conta de ativos padrão do SNA e permite monitorar, por exemplo, a taxa de variação da depleção ou regeneração dos ativos ambientais. Para isso, mede-se o estoque do ativo no início de um período contábil, registram-se todas as mudanças ocorridas

¹⁷ Riqueza nacional (*wealth accounting*), quando relacionada a toda economia. É composta por grupos de contas de ativos e passivos. A classificação dos estoques no SCN 2008 se subdivide entre os ativos produzidos e os ativos não produzidos (conta de capital); e os ativos e passivos financeiros (conta financeira) (UN *et al.*, 2009).

durante esse período que por fim determinarão o estoque no final do período. Esse processo contábil pode ser feito tanto em termos físicos quanto monetários, embora os dados em termos físicos sejam base necessária para todos os exercícios de valoração desses ativos.

No SNA 2008, os recursos naturais fazem parte dos ativos não produzidos¹⁸. Por definição, os ativos não produzidos existem de forma outra que não através de processos de produção. Além disso, apenas os recursos naturais que têm valor econômico de acordo com os princípios do SNA, ou seja, a parte dos recursos naturais em que há mercado e em que os direitos de propriedade podem ser estabelecidos e transferidos estão incluídos no limite de ativos. Exemplos de recursos naturais incluídos na fronteira de ativos do SNA são a terra e os recursos minerais e energéticos não renováveis¹⁹ (UN *et al.*, 2009).

No SEEA CF, o limite de ativos em termos físicos inclui os ativos ambientais que são real ou potencialmente utilizados por atividades econômicas ou que podem ser afetados pela geração de resíduos. Ou seja, incluem os ativos ambientais para além daqueles que fornecem benefícios econômicos, como no SNA.

Em termos físicos, o limite da fronteira de ativos ambientais do SNA 2008 é mais restrito que o do SEEA. Já em termos monetários, não há distinção entre a fronteira de ativos ambientais no SEEA e no SNA 2008.

Atualmente, há discussões para ampliação do escopo de ativos dentro do processo de atualização²⁰ do SNA e SEEA, dentre as quais a possibilidade de inclusão dos recursos energéticos renováveis - os recursos eólico e solar, os hidroenergéticos, geotérmico, oceânico e marés - que até o momento não são reconhecidos como ativos no SNA e SEEA.

No SEEA a energia solar e eólica são considerados atributos do ativo ambiental terra²¹, e, portanto, o entendimento é de que o valor desses recursos já estaria refletido no preço de mercado da terra associada.

Sendo renováveis, não sujeitos à exaustão e de fluxo, ressalta-se que esses recursos diferem dos outros energéticos e recursos naturais em geral. Portanto, a

¹⁸ As exceções são os recursos biológicos cultivados, considerados ativos produzidos.

¹⁹ Além disso, também os recursos biológicos; águas superficiais e subterrâneas, desde que sejam usadas regularmente para extração; e o espectro eletromagnético (rádio) usado para fins de telecomunicações.

²⁰ Revisões nos manuais são realizadas periodicamente para melhorias metodológicas visando refletir melhor a realidade econômica, o surgimento de novos produtos/atividades. O SNA, desde que foi publicado em 1953 já passou por revisões em 1960, 1964, 1968, 1993 e 2008.

²¹ O SEEA distingue a terra dos demais recursos naturais para destacar o papel da terra como provedora de espaço.

proposta de inclusão desses recursos como ativos (estoque) próprios, atualmente em discussão, traz novos desafios classificatórios, conceituais e práticos.

De acordo com o plano de inclusão desses mencionados recursos, somente seriam qualificados como ativos aqueles considerados viáveis para uso nas atividades econômicas sob condições tecnológicas e econômicas prevaletes de produção (UNECE, 2016). Esses recursos correspondem aos que seriam enquadrados na categoria UNFC²² “projetos comerciais”. Essa proposta segue os critérios de qualificação de ativos, ou seja, os recursos devem gerar benefícios econômicos de mercado para seus proprietários. Na prática, as estimativas de estoques das fontes renováveis vão refletir a quantidade de energia efetivamente produzida em forma de eletricidade e/ou calor, que por sua vez, estará limitada pela capacidade instalada do parque gerador associado.

Dessa forma, a inclusão dos recursos energéticos renováveis como ativos modificaria o entendimento do SEEA de que não há estoque físico em sentido contábil para esses recursos, uma vez que não são sujeitos à depleção (UN *et al.*, 2014).

...não podem ser esgotados de forma semelhante aos recursos energéticos fósseis e, ao contrário dos recursos biológicos, não são regenerados. Assim, em um sentido contábil, não há estoque físico de fontes renováveis de energia que possam ser usadas ou vendidas (SEEA CF- parágrafo 5.226).

Além do aspecto fluxo-estoque, há a questão da propriedade – outro critério para sua inclusão como ativo no SNA, que também deverá ser modificada para o caso de recursos eólico e solar, por exemplo. Como dito, o SNA somente reconhece como ativo os recursos naturais sobre os quais a propriedade pode ser ‘enforced’, seja essa propriedade privada ou do governo geral (representando a coletividade).

1.2. Os métodos de valoração e a abordagem do capital para recursos naturais

A contabilidade do capital natural visa trazer as informações do meio ambiente para a estrutura contábil, trazendo muitos desafios de ordem conceitual e prática, sobretudo quando se trata da valoração em termos monetários. O próprio SEEA possui muitas lacunas, ainda em desenvolvimento quanto a diversos aspectos

²² United Nations Framework Classification for Reserves.

metodológicos no que diz respeito a maior integração do capital natural na estrutura contábil econômica padrão do SNA.

Dentro da estrutura do SEEA, os conceitos e abordagens de avaliação utilizados para a contabilidade do meio ambiente devem ser consistentes com o conceito de avaliação usado em contas nacionais, ou seja, valores de troca (UN *et al.*, 2014). Valores de troca são aqueles valores que refletem o preço no qual os bens e serviços são transacionados no mercado²³, cujas trocas são feitas entre partes independentes, voluntariamente, nas condições estabelecidas (UN *et al.*, 2009).

No entanto, em casos específicos em que os preços de mercado não estão disponíveis ou não são significativos, os métodos de imputação são utilizados. Esses métodos geralmente usam preços de mercado de bens semelhantes ou baseados nas características do produto e processo tecnológico.

Para os ativos produzidos, a abordagem mais comum quando preços diretamente observáveis não estão disponíveis é o valor do custo de reposição (*written-down replacement cost*), construída com dados sobre despesas de investimento e utilizando premissas relativas à vida útil dos ativos e taxas de depreciação (UN *et al.*, 2009; OCDE, 2009).

Para os muitos ativos ambientais e bens e serviços providos pelo meio-ambiente, não há preços observáveis, pois não há mercado. Quanto à imputação de preços, nesses casos, é importante fazer certa distinção o SNA e muitos métodos de valoração existentes na literatura da economia ambiental. Essencialmente, os conceitos de valor econômico e as abordagens de valoração do capital natural adequados para fins de contabilidade nacional são diferentes (e mais restritos) daqueles aplicados em outras situações analíticas. Exemplos ilustrativos são os métodos como os valores de troca simulados ou métodos de disposição a pagar, ou os ligados ao excedente do consumidor, em medidas de bem-estar (*welfare values*). Esses métodos estão fora do escopo do SNA, uma vez que dependem de suposições que fogem das normas contábeis tradicionais. Cabe ressaltar que valores monetários calculados com uso de outras abordagens respondem a diferentes objetivos analíticos, desempenhando papéis complementares no apoio a políticas públicas e tomada de decisões, como em aplicações de análise de custo-benefício ou avaliação ambiental de projetos (UN *et al.*, 2021).

²³ Compreendendo que uma transação de mercado pode ocorrer em qualquer estrutura de mercado (UN *et al.*, 2009).

1.3 A questão da valoração de ativos ambientais

Entende-se que investidores e produtores tomam decisões com base nos valores dos ativos no mercado, em que preços de mercado são avaliados em relação às expectativas desses agentes em relação aos fluxos de renda que podem derivar dos ativos ao longo do tempo.

No entendimento acima está o conceito geral para avaliação de ativos (financeiros ou não), que afirma que o valor de um ativo é o fluxo descontado de benefícios econômicos líquidos futuros esperados, ao longo de sua vida útil, para o proprietário desse ativo, chamado de valor presente líquido (VPL). No mundo empresarial, esse conceito tem sido predominantemente utilizado não só para avaliar ativos específicos, mas também empresas de setores diversos:

“É comum hoje dizer que o valor econômico de qualquer bem corresponde ao valor presente do fluxo líquido de caixa que se espera esse bem produzirá no futuro. O mesmo se aplica ao caso da empresa como um todo; esse é o critério mais utilizado nos processos de avaliação de empresas para fins de negociação, fusão, cisão, privatização etc. O alvo é sempre o caixa e, no fundo, o que interessa é o futuro; tomamos decisões hoje para procurar maximizar nossos benefícios futuros.” (MARTINS, 2000).

O fator crítico desta técnica não são os retornos passados ou presentes, mas os retornos esperados, ou seja, as expectativas. Um ativo sem retornos esperados não tem valor em termos econômicos. Retornos esperados são, por definição, não observados e, portanto, devem ser feitos pressupostos relativamente a esses fluxos (UN *et al.*, 2014).

A abordagem VPL é mencionada no SNA 2008 como opção válida para avaliar ativos (ênfase aos não produzidos) onde não exista transações de mercado relevantes nem um conjunto de preços de aquisição que permita a utilização de outras abordagens.

Essa forma avaliar ativos de mercado, generalizada para os recursos naturais e ambientais, segue a convenção de que determinados recursos naturais, como minas de carvão mineral e ouro e terra, são tradicionalmente negociados e avaliados em mercados de acordo com esta prática. Além disso, há o entendimento de que esses recursos compartilham características em comum com os ativos de capital produzidos

(assim como os ativos financeiros). Dentre essas características, pode-se citar a de possuírem vida longa; poderem ter sua propriedade transferida - com possibilidade de serem comprados e vendidos em datas distintas (STIGLITZ e WALSH, 2005). Assim, destaca-se o aspecto fundamental que é prover um fluxo de benefícios/renda que se estende ao longo do tempo. Esses benefícios, advindos dos recursos naturais, normalmente pela extração ou colheita, são chamados de *resource rent*.

Nesse trabalho, evitou-se a tradução do termo *rent* para renda, visto que renda pode ser utilizada como tradução de *income* no SNA. Da mesma forma, 'aluguel' como tradução de *rent* não é adequado, cujo significado, no contexto desse trabalho, estaria mais associado ao termo em inglês *rental*²⁴. Tendo em vista essas questões, será utilizado o termo 'renta'²⁵ quando se referir a *rent*, e 'renta de recursos' ou RR no lugar de *resource rent*.

1.4 Principais abordagens utilizadas

Existem na literatura diferentes abordagens para estimar a renda de recursos (RR). A escolha de determinado método, na prática, dependerá das características do ativo ambiental que se pretender avaliar, da disponibilidade de informações, do arranjo de mercado existente, entre outras questões (UN *et al.*, 2014).

O manual SEEA CF destaca três abordagens mais comuns ou genéricas, que são o método de apropriação (*appropriation method*); o método do preço de acesso (*access price method*); e método do valor residual (RVM – do inglês *residual value method*). Destaca-se ainda outro método - alternativa de menor custo (*least cost alternative*). Esse método, embora não tratado no SEEA, foi aplicado em trabalhos relacionados recursos naturais energéticos renováveis.

A seguir essas abordagens serão brevemente apresentadas, com destaque para o RVM, pois se trata do método aplicado, neste trabalho, aos recursos energéticos renováveis não esgotáveis solar, eólico e hídrico. Ademais, o RVM é o método atualmente recomendado pelo SEEA (UN *et al.*, 2014).

²⁴ O SNA 2008 distingue entre *rent* e *rental* para diferenciar, essencialmente, os ativos produzidos dos recursos naturais (não produzidos). *Rental* se refere a pagamentos recebidos em troca do uso temporário de um determinado ativo imobilizado pertencente à outra unidade econômica. Por outro lado, *rent* – uma das rendas de propriedade - é usado exclusivamente para os recursos naturais. (UN *et al.*, 2009).

²⁵ Termo utilizado por Ladislau Dowbor, em discussão distinta do escopo deste trabalho.

- Método de apropriação

Esse método estima a RR utilizando os pagamentos observados ou efetivamente realizados aos proprietários de ativos ambientais. Em muitos países, os governos são os proprietários legais dos ativos ambientais, que coletam essa renda através de mecanismos como taxas, impostos e *royalties* (UN *et al.*, 2014), conhecidos genericamente como *resource rent taxes*.

O objetivo da taxação sobre a renda de recurso é capturar parte do excedente relacionado ao uso de um recurso natural.

Diferentes indústrias usam termos diferentes para se referir a esses pagamentos pelo uso de recursos naturais: nas indústrias de mineração, gás natural e petróleo são conhecidos como *royalties* e arrendamentos minerais; na indústria florestal são conhecidos como *stumpage tax*²⁶.

Para exemplificar, pode-se imaginar o proprietário de um poço de petróleo (que pode ou não ser o governo, dependendo do país) que licencia uma ou mais empresas para extrair, tratar e comercializar o petróleo de sua propriedade em troca do pagamento de taxas e *royalties*.

Em teoria é possível o estabelecimento de políticas fiscais através de um sistema de cobrança governamental efetivo em determinar e capturar devidamente a renda de recursos que esteja sendo apropriada na forma de lucros “extraordinários” (*windfall*) pelas atividades econômicas extrativas desses recursos (REPETTO *et al.*, 1989).

No entanto, determinar qual deve ser a taxa ‘normal’ de lucro das diversas atividades econômicas extrativas e quanto da renda deve ser tributada é um desafio regulatório para os governos. Há vários exemplos de casos de países/regiões em que os regimes de tributos ou *royalties* são estabelecidos para tentar capturar parte da renda, sem mensurá-la explicitamente (ROTHMAN, 2000).

Na prática, enfrenta-se um dilema: o estabelecimento de taxas muito altas de cobrança podem desincentivar investimentos no setor ao reduzir o nível de lucros que a empresa concessionária espera reter. Um país pode priorizar, por exemplo, uma arrecadação mais baixa como forma de incentivo e atração de investimentos para os setores associados a esses recursos (LAND, 2008; UN *et al.*, 2014).

²⁶ Em economia florestal, o valor ‘*stumpage*’ é a renda associada aos recursos madeireiros.

Em síntese, pelas razões citadas, o método de apropriação tem a limitação de se basear numa arrecadação que tende a subestimar a RR total.

- Método do preço de acesso

O método do preço de acesso baseia-se no fato de que o acesso aos recursos pode ser controlado por meio da compra de licenças e cotas, como é comumente observado nas indústrias florestal e pesqueira de muitos países. Quando esses direitos de acesso a recursos são negociados livremente, é possível estimar o valor do ativo ambiental relevante a partir dos preços de mercado desses direitos, considerados RR.

- Método da alternativa de menor custo

Por esse método, a RR é calculada como a diferença de custo entre o uso de um determinado recurso (por exemplo, recursos hidrelétricos) em um determinado processo de produção (geração de eletricidade) e o uso da próxima alternativa de menor custo ou mais acessível (que pode ser, geração térmica à carvão, por exemplo). O método é complexo e intensivo em dados. Os trabalhos com uso desse método geralmente estão associados à estimativa de um patamar para taxação de *royalties*.

- Método do valor residual

Na literatura, o método do valor residual (RVM) costuma aparecer com diferentes nomenclaturas e variantes. Por esse método, a RR para um determinado ano é obtida, como o próprio nome diz, por um resíduo, um saldo. Ou seja, resulta da diferença entre as receitas anuais obtidas com a venda do recurso e o custo anual de produção, incluindo os salários e o retorno sobre o capital empregado na atividade produtiva.

O RVM pode ser aplicado através das contas nacionais, utilizando informações da atividade econômica diretamente envolvida com a extração²⁷ do recurso natural que se deseja estimar.

A Tabela 3 descreve as etapas do método:

²⁷ Extração entendida como captura/uso do recurso natural em sentido amplo.

Tabela 3 Estimativa da RR pelo método RVM

	Valor bruto de produção
-	Consumo intermediário
=	Valor adicionado bruto
-	Remunerações do trabalho
-	Outros impostos (líquidos dos subsídios) à produção
=	Excedente operacional bruto
+	Tributos e taxas (líquidos dos subsídios) específicos
-	Custos de uso dos ativos produzidos (Consumo de capital fixo + retorno dos ativos produzidos)
=	Renta de recursos (Depleção + retorno líquido dos ativos ambientais) *

*Desconsiderando a existência de outras rendas de ativos intangíveis que possam contribuir para o excedente operacional

Fonte: UN *et al.* (2014).

O valor adicionado bruto (VAB) é igual ao valor bruto de produção (VBP) menos o consumo intermediário (CI). Subtraindo a remuneração de empregados e outros impostos específicos e (líquidos dos subsídios) à produção, chega-se ao excedente operacional bruto (EOB). Do saldo, subtrai-se os custos de uso (*user cost*)²⁸ dos ativos produzidos. Essa última parcela é composta pelo consumo de capital fixo e pelo retorno líquido aos ativos produzidos empregados na produção (UN *et al.*, 2014). Referindo-se, por exemplo, à atividade extrativa mineral, o retorno aos ativos produzidos seria, nesse caso, a parte do EOB atribuída aos ativos produzidos necessários à viabilidade do processo de extração do minério específico que se deseja avaliar.

Dessa forma, pela abordagem RVM, o excedente operacional é dividido em uma parte atribuível ao capital produzido e uma parte (residual) que é a RR.

Conforme a Tabela 3, não apenas o custo de uso está separado nos componentes de consumo de capital fixo e retorno do ativo fixo, como também está a própria RR. Para o caso dos recursos naturais não renováveis, a renda de recursos é composta em duas parcelas: o retorno líquido do ativo ambiental e a parcela de depleção. A

²⁸ Entendido como o valor dos serviços prestados pelo capital fixo empregado na produção (UN *et al.*, 2009).

depleção é o termo equivalente ao consumo de capital fixo²⁹. Para o caso dos recursos energéticos renováveis, a parcela de depleção é considerada nula³⁰.

De forma geral a qualidade da estimativa da RR através dos dados das contas nacionais dependerá, dentre diversos fatores, do nível de abertura relacionada às atividades econômicas específicas, de forma que os resultados não sejam prejudicados por incluírem outras produções relacionadas à cadeia produtiva, mas que não tenham relação direta com a atividade de coleta/extração do ativo ambiental objeto de interesse. São comuns casos em que o produtor extrai recursos diversos, ou pode incorrer em atividades complementares que agreguem valor adicionado antes da venda do recurso natural. Na prática, as estruturas de produção das atividades não são perfeitamente horizontais, resultando em dificuldades em isolar a informação necessária. Com isso, algumas suposições acabarão por terem que ser feitas.

Por fim, seja qual tiver sido a abordagem escolhida, uma vez obtida a RR do ano corrente, esta fornecerá a base necessária para a realização da estimativa do valor do ativo ambiental com aplicação do valor presente líquido (VPL).

O VPL³¹ tem sido a forma mais utilizada para valoração de ativos com transações de mercado inexistentes ou não significativas (WORLD BANK, 2011; UN *et al.*, 2014). Amplamente utilizado para a valoração monetária de petróleo e gás natural, minerais. É a abordagem padrão recomendada pelo SEEA.

O valor do ativo ambiental é determinado pelo valor presente líquido do fluxo futuro de RR - estimado a partir da RR corrente - ao longo da vida útil esperada do ativo ambiental. O resultado dessa afirmação vem da relação econômica teórica de que o valor do estoque (em equilíbrio) de um ativo é igual ao seu fluxo descontado de benefícios futuros esperados que o ativo proverá, em condições de mercado eficiente. (OCDE 2009; UN *et al.*, 2009, 2014).

A equação 1 a seguir resume a proposta:

$$V_t = \sum_{\tau=1}^{N_t} \frac{RR_{t+\tau}}{(1+r_t)^\tau} \quad \text{Equação 1}$$

²⁹ El Serafy (1991) faz uma crítica ao paralelo feito entre recursos naturais não renováveis e os ativos fixos, argumentando que, para fins contábeis, os primeiros possuem maior semelhança aos ativos de estoques.

³⁰ Ativos “de biomassa” para fins energéticos não entram nessa categoria.

³¹ Há casos em que a menção ao uso do método VPL para ativos ambientais, já pressupõe o uso do RVM.

Em que:

- RR_t é a renda de recursos do período corrente;
- N_t o período total esperado que a atividade econômica se beneficiará da extração do recurso, de acordo com a vida útil do recurso natural ou do ativo produzido empregado na atividade extrativa;
- RR_τ a expectativa do padrão de fluxo da RR para o futuro; e
- r_t a taxa de desconto apropriada que deve ser aplicada ao fluxo, necessária para converter o fluxo esperado da RR em uma estimativa do valor do estoque total para o período atual.

A RR e demais informações para avaliação deverão ser atualizados a cada período contábil.

Idealmente, o padrão de RR para o futuro exige levar em consideração fatores diversos, não só o preço atual do recurso extraído, mas de suas expectativas futuras (o incentivo para a exploração); estimativas de volume, dos custos de extração futuros e da taxa de juros esperadas para os anos τ .

Capítulo 2. Revisão de literatura dos métodos de valoração dos recursos energéticos

Através da chamada renda de recursos (RR), os exercícios experimentais de avaliação das contas ambientais foram desenvolvidos com ênfase nos recursos naturais sujeitos à exaustão. Isso inclui predominantemente os recursos minerais e energéticos não renováveis, mas também os agrícolas, madeireiros e florestais, pesqueiros e outros recursos biológicos transacionados em mercados³², que podem ou não estarem associados a usos energéticos.

A fim de compreender melhor a RR, uma vez que é central para a avaliação de recursos naturais, será apresentada breve descrição teórica acerca do que ela abarca e representa, ressaltando o contexto das contas ambientais. A partir disso, são trazidas informações gerais de alguns métodos historicamente propostos para valorar recursos energéticos não renováveis. Finalmente através de breve revisão de literatura, são discutidas as principais questões relacionadas à valoração específica dos energéticos renováveis não esgotáveis.

2.1 A renda de recursos (*resource rent*)

A renda de recursos (RR) de um ativo ambiental é relacionada ao conceito de renda (*rent*). Desde os trabalhos dos economistas clássicos, que identificaram na terra sua fonte original (*land rent*), a ideia de renda vem sendo alterada e expandida ao longo do tempo. Pode-se dizer que, atualmente, não existe um consenso claro sobre o seu significado, sendo apresentada na literatura de diferentes formas e classificações.

Partindo dos clássicos, Rothman (2000) relaciona o surgimento das rentas através de duas fontes principais: as rentas diferenciais (*differential rent*) e as rentas de escassez ou absolutas (*scarcity rent*).

As rentas diferenciais, também chamadas de rentas ricardianas, estão associadas a diferenças de qualidade dos fatores de produção, que resultam em maior produtividade. Na perspectiva teórica ricardiana, a renda diferencial origina-se nas diferenças de produtividade da terra como um fator de produção heterogêneo, não

³² O debate em torno dos métodos e atribuição de valores monetários aos recursos biológicos é mais controversa do que no caso dos recursos não renováveis. O relatório Stiglitz-Sen-Fitoussi (2009) questiona a confiabilidade dos valores resultantes da avaliação de recursos naturais, com exceção daqueles que têm preços de mercado bem estabelecidos.

uniforme em qualidade. De maneira geral, esses aspectos de qualidade podem ser relativos a características do recurso natural (por exemplo, teor de pureza, densidade energética) e a vantagens locacionais, como proximidade do mercado; facilidade de acesso, extração/transformação de determinados recursos, que resultam em menor custo. (ROTHMAN, 2000). No modelo ricardiano, os recursos qualidades diferentes que podem ser ordenados por custo e, assim, apresentando um custo incremental crescente até a fonte marginal de oferta. Essas rentas surgem desse diferencial de custos em relação à fonte marginal, pois, num mercado competitivo, o preço será estabelecido pelo recurso demandado de qualidade mais baixa (marginal).

Por outro lado, as rentas de escassez ou absolutas são rentas que ocorrem quando há limitação na oferta do recurso (possuem curva de oferta inelástica), o que permite aos proprietários ou produtores do recurso cobrar preços acima do valor mínimo necessário para mantê-lo em seu uso atual. No caso da terra, a renda apareceria no preço pago pelo uso da terra quando sua oferta é limitada em relação à demanda. Se toda a terra for homogênea, mas a demanda por terra exceder sua oferta, haverá renda econômica associada à terra em virtude de sua escassez. (ROTHMAN, 2000).

As rentas de escassez e rentas diferenciais não são mutuamente exclusivas e poderão surgir conjuntamente, seja no caso da terra ou de outro recurso natural³³. As rentas são, nessa visão, um valor excedente (*surplus value*) extraído que surge não em virtude do processo produtivo econômico em si ou do esforço de fatores de produção previamente aplicados, mas de condições vantajosas apropriadas pelo detentor do recurso (ROTHMAN, 2000).

Ao longo do tempo, as discussões em torno desses excedentes foram marcadas por divergências que envolvem uma variedade de interpretações teóricas e práticas, dentre eles os fatores, mecanismos de sua formação, período de tempo e abrangência de análise. São comuns na literatura termos como “*economic rent*”, “*quasi-rent*”, “*Hotelling rent*”, “*Pareto rent*”, “*Schumpeter rent*”, “*regulation rent*”, “*inframarginal rent*” entre outros (SUENAGA, 2016; SCHWERHOFF *et al.*, 2019).

Diferentes tipos de recursos e ativos, configurações institucionais e regulatórias podem gerar rentas. Nem sempre é evidente que tipo de renda está sendo gerada. Alguns recursos, por exemplo, embora escassos, possuem rentas elevadas que

³³ As rentas diferenciais, como as locacionais, também podem ser associadas às rentas de escassez. Por esse entendimento, associa-se a cada recurso com uma qualidade determinada uma curva de oferta ‘vertical’ própria. Assim, recursos de qualidade distinta possuem diferentes curvas de oferta ‘vertical’.

podem resultar menos de uma escassez “natural”, mas advir de regulamentação que protege esses recursos de serem explorados de forma insustentável. Outros recursos, mesmo com baixa escassez, podem, mesmo assim, gerar rentas “artificiais” pela existência de produtores com poder de mercado (SCHWERHOFF *et al.*, 2019). Nesse sentido, pode-se dizer que rentas distintas em natureza estão relacionadas à recursos naturais. Existem ainda as rentas que se referem a situações e fatores de produção não conectados aos recursos naturais e meio-ambiente.

O SEEA trata das rentas específicas a recursos naturais e ambientais, mas não faz distinção entre as origens possíveis de geração dessas rentas. Conforme mencionado, são tratadas genericamente de renda de recursos (RR).

No contexto das contas ambientais do SEEA, a RR é entendida como o retorno atribuível ao próprio recurso natural como fator de produção. Assim, a RR está no valor excedente acumulado para a atividade econômica que extrai/usa esses recursos, valor esse obtido pela venda e calculado após todos os custos e retornos normais serem levados em consideração³⁴ (UN *et al.*, 2014).

Com a mesma proposta conceitual do SEEA, a OCDE (2023) define a RR como o valor dos fluxos de ‘serviços de capital’ prestados pelos recursos naturais, ou sua participação no excedente operacional bruto, em que seu valor será função do valor do recurso extraído.

Estendido aos recursos naturais, os ‘serviços de capital’ se referem ao fluxo de benefícios que os ativos não financeiros – tradicionalmente referidos aos ativos fixos³⁵ - geram por serem mantidos e usados na produção. Ou seja, a RR é o retorno pela contribuição do ativo na produção. Os serviços de capital são definidos como a soma do custo do consumo de capital fixo (CCF) com o retorno líquido do ativo fixo (OCDE, 2009; UN *et al.*, 2009).

³⁴ Conforme já mencionado, os custos e retornos “normais” se referem ao retorno da atividade extrativa necessário para cobrir os custos de operação e manutenção, os custos com trabalhadores e o custo de oportunidade do capital investido.

³⁵ Mas também estoques, licenças e contratos de arrendamentos usados na produção.

2.2 Histórico de valoração dos recursos naturais esgotáveis

Historicamente, devido ao grande peso econômico e geopolítico, grande foco é dado na compreensão da dinâmica e sustentabilidade das indústrias e economias que dependem dos recursos esgotáveis, em especial os recursos não renováveis. No contexto das contas ambientais, essa seção discorrerá brevemente algumas informações gerais e principais métodos utilizados, embora não exclusivamente, para esses recursos.

Os exercícios e métodos de valoração para os recursos naturais foram desenvolvidos, em grande medida, tomando os recursos energéticos não renováveis como base. As contas de ativos para esses recursos podem desempenhar um papel de auxílio no processo de monitoramento e avaliação das políticas públicas (UN *et al.*, 2014). Alguns países já publicam as contas de ativos para recursos minerais e energéticos não renováveis seguindo as diretrizes do SEEA, como Austrália, Canadá, Holanda e Reino Unido, entre outros. Esses países compilam o valor dos recursos minerais e energéticos pelo VPL das RR futuras.

Como fazem parte das commodities tradicionalmente comercializadas nos mercados, grande parte desses recursos possui preços de mercado bem estabelecidos. Adicionalmente, cabe ressaltar que a última versão do SEEA faz distinção entre o preço do recurso extraído (renta de recursos unitária) e o preço do ativo no local (*in situ*), muito embora esses dois preços sejam claramente relacionados (UN *et al.*, 2014).

Essa questão se relaciona com a ideia que distingue os mercados de estoque e de fluxo, em que é a expectativa dos preços dos fluxos futuros (extração futura) que determinará o valor dos estoques. Expectativa essa que, adicionalmente, é reforçada pela lógica da escassez iminente, característica dos não renováveis (ERREYGERS, 2009; SOLOW, 1974).

Conforme explicitado anteriormente, a conta de ativos para recursos naturais segue a estrutura do SNA, com dados de estoques iniciais, estoques finais e itens relativos às variações anuais. Relacionado aos recursos minerais e energéticos, pode-se distinguir cinco tipos de variações: extrações, descobertas, revisões, reavaliações, reclassificações e perdas catastróficas.

A Tabela 4 apresenta a estrutura dessa conta:

Tabela 4 Estrutura de tabela para conta de ativos de recursos minerais e energéticos

Recurso	Petróleo	Gás Natural	Carvão mineral	Minerais metálicos	Minerais não metálicos
Estoque inicial					
Descobertas					
Revisões para cima					
Reclassificações					
Total das adições no estoque					
Extrações					
Perdas por catástrofes					
Revisões para baixo					
Reclassificações					
Total das reduções no estoque					
Reavaliações					
Estoque final					

Fonte: UN *et al.* (2014).

As 'extrações' têm uma contribuição direta na redução do estoque do ativo. As 'perdas catastróficas' se referem a eventos imprevistos, como desastres naturais ou conflitos armados, e também tem resultado direto na redução do estoque de recursos minerais e energéticos.

Quanto aos outros itens de variações no estoque levam em conta como recursos minerais e energéticos não renováveis são classificados de acordo com o conhecimento e potencial de recuperação que se tem deles. As reavaliações se devem ao componente preço.

Como alguns desses fluxos são de grande importância para a análise econômica da sustentabilidade, para que ela faça sentido, é importante diferenciar as revisões das descobertas e das extrações. Isso ocorre porque a contabilização agregada desses fluxos pode tornar a informação confusa quando se analisa apenas a variação final dos estoques no tempo. Portanto, a separação entre esses tipos de fluxos permite uma análise mais precisa da evolução dos estoques e uso dos recursos minerais e energéticos.

Em indústrias extrativas outras que não sejam as de petróleo e gás, as adições são geralmente iguais às novas descobertas e as reduções são geralmente iguais às extrações, pelo menos em termos históricos. No entanto, nas indústrias de petróleo e gás, os diversos componentes mencionados costumam ter bastante peso, o que pode contribuir para aumentar a volatilidade no valor do ativo (UN *et al.*, 2014).

O tema da valoração de recursos minerais e energéticos não renováveis possui um histórico de amplo debate e documentação através de publicações, artigos e trabalhos

acadêmicos que exploram uma variedade de métodos para lidar com a depleção desses recursos. Importante destacar que essas propostas metodológicas incorporam diversas considerações que abrangem questões legais, regulatórias e práticas contábeis empresariais de reporte e avaliação, que podem ou não refletir a realidade de diferentes países³⁶.

No âmbito das SNA e SEEA, essas metodologias foram desenvolvidas, dentre outras razões, para abordar uma questão de inconsistência associada aos recursos naturais sujeitos à exaustão. Essencialmente, essa inconsistência reside no fato de que, embora a extração e uso desses recursos contribuam para os fluxos de produção e renda correntes, não há ajuste correspondente nas contas nacionais para contabilizar sua depleção. Ou seja, reduções no estoque de riqueza são tratadas como crescimentos na renda (REPETTO *et al.*, 1989).

Apesar da generalização do método atualmente denominado VPL, apresentado na última versão do SEEA (UN *et al.*, 2014), ainda hoje, trabalhos no âmbito das contas nacionais e ambientais por parte de países calculam o valor de ativos através de métodos distintos, inclusive os discutidos ainda nas primeiras versões dos manuais. Esses métodos incluem o método *net price* e o método *user cost* (El Serafy) (WORLD BANK, 2006, 2011). O Canadá, por exemplo, opta por divulgar estimativas calculadas com métodos distintos para um mesmo ativo não renovável, a fim de permitir a comparação de resultados.

A falta de consenso, mesmo para o caso dos recursos naturais não renováveis, na escolha por um determinado método (e suas variantes) pode estar relacionada não somente a aspectos teóricos, mas também a questões de ordem prática, como dificuldade de obtenção de dados, facilidade de aplicação e atualização, interpretação das variações e etc.

Método *net price* (alternativa baseada em Hotelling)

O método conhecido como *net price* (preço líquido) foi inspirado em Hotelling (1931), que, por sua vez, desenvolveu uma estrutura teórica para administração eficiente de estoque de recursos naturais, ao tratá-los como um ativo. De acordo com a condição geral de eficiência de ativos, o preço descontado (ou valor presente) de

³⁶ Ver, por exemplo, trabalhos em LANDEFELD e HINES (1985); EL SERAFY *et al.* (1989); YOUNG e SEROA DA MOTTA (1995); LANGE e MOTINGA (1997).

qualquer ativo gerido de forma eficiente permanecerá constante ao longo do tempo (PERMAN *et al.*, 2003).

A formulação teórica básica de Hotelling afirma que, sob condições idealizadas, a renda de escassez de recursos inexplorados³⁷ deve aumentar de acordo com taxa de juros de mercado por conta da expectativa de escassez crescente dos recursos.

A renda de escassez, ou Hotelling *rent*, é o preço líquido, ou seja, o preço do recurso extraído menos o custo marginal de produção. As condições de equilíbrio significam que a taxa de juros representa a taxa de retorno de todos os outros capitais em uma economia, o custo de oportunidade. Na chamada regra de eficiência de Hotelling, o caminho de extração tenderá a permanecer no seu ótimo, numa relação que a todo tempo confronta os ganhos de fluxo obtidos com a extração aos ganhos de capital obtidos com o estoque (decisão de postergar a extração).

O método *net price* assume, implicitamente, os pressupostos da teoria de Hotelling, como eficiência de mercado, equilíbrio de longo prazo do mercado de ativos, previsão perfeita dos agentes, entre outras suposições³⁸.

Pelo método *net price*, o valor econômico do ativo, ou seja, do estoque de recursos (reserva), é calculado pela multiplicação do preço líquido do recurso vezes a quantidade física relativa a esse estoque. Algebricamente:

$$V_t = N_t Q_t \quad \text{Equação 2}$$

Em que N_t é preço líquido (*net price*) e Q_t é o tamanho do estoque físico.

O preço líquido utilizado pelo método, de maneira geral, é obtido pelo preço médio de mercado do recurso extraído menos os custos médios (que podem incluir os custos relativos ao capital físico empregado na extração). O preço líquido é um resíduo, podendo ser entendido como a renda de recursos unitária do recurso em questão.

Já o valor das variações do estoque (valor de descoberta, depleção e variação de preço/reavaliação) é dado, de forma simplificada, pela expressão abaixo:

³⁷ Mantidos como estoque (ativo no subsolo).

³⁸ Por outro lado, argumenta-se que este método não chega a aplicar exatamente a regra de Hotelling, uma vez que o preço líquido calculado é preço menos custos médios, em vez da verdadeira renda de escassez - preço menos custos marginais. O caso só seria válido se os retornos de escala na extração fossem constantes (LANDEFELD e HINES, 1985; YOUNG e SEROA DA MOTTA, 1995).

$$V_t - V_{t-1} = N_{t-1}Q_{t-1} + N_{t-1}D_t - N_{t-1}E_t + (N_t - N_{t-1})Q_t \quad \text{Equação 3}$$

Onde N_{t-1} e N_t representam os preços líquidos em t-1 e t; Q_{t-1} e Q_t representam o estoque físico em t-1 e t; D_t e E_t representam, respectivamente, as descobertas e extrações do período t.

Conforme apontado por Landefeld e Hines (1985), a aplicação desse método equivale a assumir que, conforme o recurso é extraído ao longo do tempo e vai se tornando escasso, a RR irá variar ao longo do tempo a uma taxa que é igual à taxa de desconto que seria utilizada para trazer os fluxos de RR a valor presente. Logo, como uma taxa compensa a outra, não há necessidade de descontar as receitas futuras de RR. O valor do estoque será, grosso modo, o preço líquido corrente vezes o estoque do período corrente (Equação 2). É semelhante a supor uma valoração monetária em que todas as reservas remanescentes são extraídas no ano corrente de referência (LANDEFELD e HINES, 1985; UN, 2000).

A simplificação do cálculo da valoração do ativo pode ser considerada uma vantagem, porque requer menos informações e dessa forma não precisa lidar com as incertezas associadas à previsão dos padrões futuros de taxa de extração, dos preços, custos e etc.

Esse método também ficou conhecido como método da depreciação (*depreciation method*) por estar associado à visão de contabilizar a depleção de maneira similar à forma como este é registrado no caso dos ativos fixos. Numa perspectiva contábil, o capital é depreciado à medida que vai gerando renda corrente ao longo do tempo. Dessa forma, um valor associado à depreciação deve ser computado para equilibrar a redução do capital. De forma similar ao tratamento para o capital produzido, a depleção do estoque de recurso deve ser compensada com a renda corrente gerada por sua extração³⁹ (REPETTO *et al.*, 1989).

Método user cost (El Serafy)

Seguindo as discussões do período, essa abordagem também teve como fundamento evidenciar a não sustentabilidade das economias com alto grau de

³⁹ Os outros componentes, como as descobertas e as reavaliações, por terem sido objeto de controvérsia, não foram comentados nesse trabalho para simplificar a apresentação do método.

dependência em recursos naturais não renováveis⁴⁰. Propõe que as receitas obtidas desses ativos não renováveis sejam investidas em projetos alternativos que possibilitem a mudança da trajetória insustentável.

Criticando a forma como esses recursos são contabilizados nas estatísticas oficiais, que não distingue entre receitas derivadas da liquidação de “ativos naturais”, e renda gerada pelo uso sustentável de fatores de produção, a abordagem busca incorporar um conceito de sustentabilidade ao SNA.

Inspirado em Hicks com a ideia de renda verdadeira, a proposta de El Serafy (1989) relaciona as receitas líquidas (*net receipts*) - obtidas com a venda do recurso não renovável extraído (*wasting asset*) - a duas parcelas distintas: a primeira corresponderia a um elemento de valor adicionado, entendida como a renda verdadeira. A segunda parcela é um valor residual, ou elemento de capital, sujeito a provisão (*capital allowance*). Esse valor residual provisionado representa a depleção do recurso natural a ser investido em outros ativos. O investimento nesses ativos alternativos geraria um fluxo de renda capaz de ser mantido no longo prazo - após a exaustão do recurso não renovável – e que seja equivalente ao fluxo da parcela da renda verdadeira. É a ideia da sustentabilidade da renda que está sendo buscada.

El Serafy (1989) define a receita líquida como a receita das vendas do recurso extraído descontadas dos custos de extração. Estes custos envolvem elementos de CI e de pagamentos a fatores de produção. No contexto das contas econômicas ambientais, pode-se entender a receita líquida como equivalente à RR apresentada na seção 1.6 (capítulo 1)⁴¹.

Algebricamente, pode-se representar a ideia de El Serafy conforme as seguintes variáveis: seja RR a renda de recurso; X a renda verdadeira; $\frac{X}{RR}$ a fração da renda verdadeira; r a taxa de desconto; N a vida restante do estoque considerando a taxa de extração corrente⁴²; e $RR - X$ a parcela de capital a ser reinvestida, de forma que a fração da renda é:

⁴⁰ Como em Repetto *et al.* (1989), com a aplicação do *net price*.

⁴¹ Cabe ressaltar, no entanto, que El Serafy (1989) é enfático quanto ao “profundamente mal utilizado” conceito de renda para o caso de ativos depletáveis. Afirma que a renda, para os clássicos, possuem o elemento de sustentabilidade associado aos “poderes indestrutíveis da natureza”, citando David Ricardo. E que difere, portanto, do valor do excedente operacional líquido decorrente da depleção de recursos não renováveis.

⁴² Ou seja, assumindo as tecnologias de extração atuais, relação produção/reserva constante. A vida útil restante T considera a receita da extração do período corrente já realizada.

$$\frac{X}{RR} = 1 - \frac{1}{(1+r)^N} \quad \text{Equação 4}$$

Ou a fração do elemento de capital:

$$1 - \frac{X}{RR} = \frac{1}{(1+r)^N} \quad \text{Equação 5}$$

Para X ser a renda verdadeira, então o investimento de $RR - X$ deve gerar um fluxo de renda constante igual a X . Se isso ocorre, então $RR - X$ é o valor *user cost*, ou custo de depleção (D) associado ao recurso. A parcela X é a que realmente adiciona valor à economia, de forma que a parcela D deve ser excluída dos agregados de renda/produção. O custo de depleção D é dado pelo valor descontado da perda esperada de receita quando o recurso se esgotar.

$$RR - X = D = \frac{RR}{(1+r)^N} \quad \text{Equação 6}$$

Embora o método El Serafy tenha sido formulado para ajuste diretamente nas variáveis de fluxo, é possível calcular o valor do ativo. Considerando a hipótese assumida de que os fluxos de RR unitários, as taxas de juros e os níveis de extração permanecerão constantes ao longo da vida do recurso até sua exaustão, então, em termos formais, o valor do ativo é dado conforme a Equação 7 (YOUNG e SEROA DA MOTTA, 1995):

$$V_t = p_t q_t \sum_{\tau=1}^{N_t} \frac{1}{(1+r)^\tau} \quad \text{Equação 7}$$

Em que $p_t q_t = RR_t$ e N_t o período do esgotamento do recurso considerando a taxa de extração em t .

A partir das hipóteses, duas observações são feitas: uma é que quanto maior a taxa de desconto e maior a vida útil estimada do recurso, menor o elemento de depleção em relação à fração da receita (PERMAN *et al.*, 2003). A outra é que a abordagem do *net price* pode ser vista como um caso particular da abordagem *user cost* quando a taxa de desconto é zero ou a extração implica o esgotamento imediato do recurso (LANDEFELD e HINES, 1985; YOUNG e SEROA DA MOTTA, 1995).

Com destaque para os energéticos não renováveis, foram apresentados dois dos principais métodos (*user cost* e *net price*) discutidos historicamente no contexto das contas ambientais antes da versão do método RVM/VPL presente no atual SEEA CF. A depleção, no SEEA CF é tratada da mesma forma que o consumo de capital fixo, o seja, como um custo de produção.

A seguir serão apresentadas questões teóricas e práticas da literatura relacionada especificamente aos recursos energéticos renováveis não esgotáveis e que serviram de base para metodologia de estimativa de valoração desses recursos presente nesse trabalho.

2.3 Os recursos energéticos renováveis não depletáveis

De acordo com a Classificação Quadro das Nações Unidas⁴³ (UNECE, 2016), considera-se fontes de energia renovável as fontes primárias de energia disponíveis para extração e conversão em Produtos de Energia Renovável. Compreende a energia solar, eólica, a energia hídrica (gerada a partir de rios, ondas, correntes e marés), inclusive biomassa. Exemplos de Produtos de Energia Renovável são a eletricidade, o calor e os biocombustíveis diversos. O hidrogênio renovável é outro candidato.

A energia solar é a radiação eletromagnética emitida pelo sol que pode ser captada para uso direto como calor ou para conversão em eletricidade através do uso de elementos semicondutores fotossensíveis. A irradiação solar varia sobre a superfície da terra, com os níveis mais altos no equador. A quantidade de energia solar que atinge qualquer ponto da superfície terrestre é afetada pelas características atmosféricas; incluindo cobertura de nuvens, vapor de água entre outros eventos. (EPE, 2016a).

A energia eólica é impulsionada pela radiação solar, convertida em energia cinética na forma de moléculas de ar em movimento, o vento, provocado pelo aquecimento desigual das superfícies da terra pelo sol, causando diferenças de pressão. Além disso, o vento é influenciado pela rotação da Terra. Os ventos são afetados por características geográficas e são distribuídos de forma desigual sobre a superfície da Terra (EPE, 2016a).

⁴³ United Nations Framework Classification (UNFC).

A energia hidrelétrica provém da irradiação solar e da energia potencial gravitacional. É gerada através do impulsionamento do fluxo de água em altitudes elevadas como áreas montanhosas, ou rios com origem em áreas montanhosas. Quanto maior o desnível entre volumes de água maior o potencial energético que pode ser aproveitado pelas usinas hidrelétricas (EPE, 2016a).

Considerando os três recursos energéticos destacados, é possível observar que eles se distinguem dos recursos não renováveis em pelo menos alguns aspectos, discutidos a seguir.

No caso dos recursos não renováveis, a produção primária geralmente não envolve uma transformação significativa 'in situ' do recurso; por exemplo, a extração de minério de ferro de uma mina resulta em minérios de ferro e resíduos, o mesmo acontece com a extração de petróleo de um poço. Em contraste, o resultado principal da 'extração' da energia proveniente dessas fontes energéticas renováveis é a produção de energia elétrica, uma energia secundária⁴⁴.

Os recursos energéticos não renováveis, sendo eles sujeitos à depleção, são considerados na dimensão de estoque e fluxo, diferente da convenção conceitual contábil associada a esses energéticos renováveis, considerados como “de fluxo”. Segundo a proposta de inclusão desses recursos como ativos, esse entendimento é modificado. Mesmo sendo não esgotáveis⁴⁵, passa-se a considerar que seus estoques estão limitados pela capacidade instalada do parque gerador utilizador dessas fontes e o componente de fluxo é aquele relativo à conversão das fontes em eletricidade num determinado intervalo de tempo contábil.

Pode-se analisar a questão da rentas relativa a esses energéticos renováveis quanto às características de escassez e diferencial de qualidade.

Existe o grupo de países de menor extensão territorial, e como consequência, menos áreas disponíveis para instalação dos equipamentos de geração, que nesse sentido pode se traduzir, indiretamente, em maior escassez do recurso ou em maior custo de oportunidade do uso da terra utilizada para geração⁴⁶. Da mesma forma, a

⁴⁴ Desconsiderando a contribuição desses recursos como fontes diretas de calor, por exemplo, com o uso de recursos geotérmico e solar, não considerado nesse trabalho.

⁴⁵ No caso dos recursos energéticos hídricos pode haver controvérsia quanto a serem não depletáveis. Se for considerado o ciclo hidrológico, ou através de uma perspectiva macro, não há questionamento. Porém, numa avaliação mais localizada, considerando os impactos de fenômenos naturais e antropogênicos, esses recursos podem sofrer alterações de quantidade e qualidade sazonais ou mesmo permanentes.

⁴⁶ Em contraste aos países e regiões com abundância de áreas, podendo se traduzir em baixo custo de oportunidade da terra. Os aspectos expostos são relacionados ao ativo terra, que, pelo SEEA, pertencem esses recursos. No entanto, como a proposta em discussão é a de isolar esses recursos, não houve foco nessa questão.

limitação de áreas propícias para energia hidrelétrica propiciam verdadeiras e significativas rentas de escassez (SCHWERHOFF *et al.*, 2019).

Ligado à questão territorial, há o aspecto relativo à qualidade dos recursos, sendo essa qualidade estabelecida, por exemplo, pela incidência de radiação solar, intensidade do vento ou pela disposição da geografia favorável para aproveitamento energético dos recursos hídricos. A qualidade dos recursos varia entre as regiões e mesmo dentro das fronteiras de um país.

O caso do Brasil é muito distinto dos países europeus em geral, possuindo larga extensão territorial e recursos eólico, solar e hídrico de alta qualidade. Em especial nas regiões Nordeste e Sul, os recursos eólicos, por exemplo, são considerados um dos melhores do mundo. Na região Nordeste, o vento é caracterizado por pouca variação em sua direção, altas velocidades médias e baixa ocorrência de eventos extremos, o que favorece a operação dos equipamentos (EPE, 2023b).

A qualidade desses recursos pode ser representada nos indicadores de eficiência. Uma medida frequentemente utilizada para mensurar a eficiência da geração é o chamado fator de capacidade. O fator de capacidade de uma usina é comumente definido como a razão, em determinado intervalo de tempo, entre a produção de energia efetiva da planta e o que seria produzido se ela operasse continuamente em sua capacidade nominal.

A fórmula do fator de capacidade (FC) pode ser expressa da seguinte forma:

$$FC = \left(\frac{\text{Eletricidade gerada}}{\text{Potência}} \times t_{\text{horas no período}} \right) \times 100 \quad \text{Equação 8}$$

No entanto, a eficiência da geração elétrica expressa pelo fator de capacidade não advém apenas da qualidade dos recursos naturais energéticos, mas também deriva de aspectos tecnológicos (como características técnicas que conferem maior eficiência aos equipamentos utilizados para conversão da energia) e gestão operacional.

Ainda sobre a questão das rentas, cabe comentar sobre as chamadas rentas inframarginais, pois esse termo é muito discutido no âmbito do setor elétrico. As rentas inframarginais podem ser consideradas similares as rentas ricardianas (descritas na seção 2.1) em uma versão ampliada, abrangendo tanto as rentas diferenciais

“clássicas” causadas por diferenças nas qualidades/locais de produção, como também por outras causas de heterogeneidade de custos (MISUND e TVETERÅS, 2023).

No mercado de eletricidade, essas rentas surgem quando a eletricidade é precificada com base no custo de produção da última central elétrica (marginal) utilizada para atendimento da demanda. As outras usinas "inframarginais" se beneficiam dos aumentos de preço de mercado da eletricidade quando causadas por razões não conectadas diretamente a seus custos de produção. Dessa forma, esses excedentes serão tanto maiores quanto menores forem seus custos operacionais em relação ao custo da usina marginal (European Commission, 2015)⁴⁷.

Partindo mais especificamente para as questões relativas à estimativa da renda e valoração dos energéticos renováveis não esgotáveis, ressalta-se que, pelo lado da receita, as variações na renda podem ocorrer tanto pelo componente quantidade quanto pelo componente preço. A quantidade é dada pela geração, que por sua vez tenderá a crescer com o aumento do parque gerador instalado. Como um aumento da capacidade instalada das fontes leva a um aumento da RR, pode-se pensar no valor da RR unitária, ou seja, a RR dividida pela quantidade de eletricidade gerada.

Dessa forma, a tarefa de valoração desses renováveis pode parecer mais simples numa primeira impressão, em comparação aos recursos energéticos não renováveis. Isso porque não há o componente de depleção, nem os diversos componentes de variações de estoque (tabela 4) que podem causar grande volatilidade no valor dos ativos. No entanto, para os renováveis, há os aspectos de incerteza e variabilidade na produção causada pelas condições climáticas e de intermitência inerente a essas fontes (em especial solar e eólica). Como resultado, podem-se ter também variações significativas na renda de recursos unitária e, conseqüentemente, no valor desses ativos.

Em Rothman (2000) a renda da hidroeletricidade (*hydro rent*) é definida, de acordo com a teoria neoclássica, como o preço da eletricidade determinado competitivamente menos o custo marginal de produção da energia hidrelétrica. Esse preço competitivo é comumente referido pelos estudos revisitados como o preço “spot” (à vista).

No entanto, os países divergem quanto ao desenho institucional do setor elétrico, que abrange, entre outras questões, as regras de comercialização e grau de abertura de mercado em que operam os serviços públicos. Nesse sentido, as tarifas de energia

⁴⁷ Discute-se também sobre a transitoriedade desses excedentes. Nessa perspectiva, eles seriam mais próximos dos chamados *quasi-rents*.

elétrica podem ou não ser reguladas. Essa questão envolve não apenas o aspecto do modelo de precificação, se pelo custo ou pelo mercado, mas também o entendimento da eletricidade como uma *commodity*.

Não havendo a possibilidade de observar preços competitivos, é sugerido que haja alguma adaptação para aplicação do RVM ou então que outros métodos sejam considerados (UN *et al.*, 2014).

O método da alternativa de menor custo (*least cost alternative*) tem sido historicamente utilizado - fora do âmbito das contas econômicas ambientais - para avaliação da renda de recursos energéticos renováveis hídricos. A estimativa da renda da hidroeletricidade aparece na literatura, sobretudo no contexto de taxaço de rentas⁴⁸, em exercícios de avaliação de impacto de potenciais receitas fiscais “*rent-based*” relacionadas às usinas hidrelétricas.

No entanto, esse método é considerado complexo e custoso, requerendo a modelagem de pelo menos dois cenários, um em que a atividade ocorre utilizando o recurso de interesse, e um segundo cenário contrafactual, em que a atividade ocorre com o recurso alternativo de menor custo. A modelagem do cenário ‘real’ será tanto mais precisa quanto maior o nível de informação dos custos de produção das usinas hidrelétricas, idealmente ao calculadas no nível do empreendimento (*bottom up*).

Além disso, uma vez que a renda de recursos hidroelétricos é calculada tomando por base o mercado perfeitamente competitivo, a modelagem necessitaria ainda ajustar os dados para eliminar as chamadas distorções do mercado real, seja em termos de custos, seja da forma como a eletricidade é efetivamente precificada (ROTHMAN, 2000).

Esse método foi aplicado à avaliação da renda de recursos hidrelétricos no Canadá em Bernard, Bridges e Scott (1982) *apud* Rothman (2000). O estudo objetivou desenvolver uma base tributária de renda hidrelétrica similar às bases tributárias calculadas para recursos fósseis. As rentas foram estimadas como o valor da eletricidade menos todos os custos estimados de produção a partir de uma usina hidrelétrica. Para a alternativa, o estudo utilizou os custos incrementais de construção de novas usinas térmicas para substituir a geração hidrelétrica, mantendo o restante do sistema constante (ROTHMAN, 2000).

⁴⁸ A tributação da renda de recursos foi, inicialmente, muito discutida na década de 1970, sobretudo, com foco nas indústrias extrativas minerais (BORKENHAGEN, 2021).

Outro estudo, em Zuker e Jenkins (1984) *apud* Rothman (2000), também no Canadá, estimou as rentas hidrelétricas como a diferença entre os custos de produção hidrelétrica e o custo de oportunidade marginal dessa produção. O custo de oportunidade marginal foi considerado como a alternativa de menor custo para substituir a eletricidade gerada pelas hidrelétricas. Na prática, no entanto, o estudo calculou a renda como a diferença entre o custo total do sistema atual com hidrelétrica e o do sistema (modelado) de menor custo sem hidrelétrica (ou seja, também considerando somente a geração elétrica baseada em fósseis).

As aplicações mais simples do método 'alternativa de menor custo' envolvem a comparação do mercado elétrico observado com o custo médio de importação de eletricidade para avaliar a viabilidade da produção hidrelétrica como alternativa de menor custo.

Outros estudos para estimar a renda de recursos hidrelétricos foram realizados nas décadas seguintes, com aprimoramentos dos modelos de otimização, mas continuaram utilizando o mesmo princípio de uma alternativa com ou sem o recurso hídrico, considerando um mercado perfeitamente competitivo como base do modelo (WANDJI e BHATTACHARYYA, 2018).

A discussão em torno dos recursos eólicos e taxaço de rentas começa a se fazer presente mais recentemente, com argumentos de que possíveis rentas desses renováveis podem contribuir para amenizar a futura queda das receitas de tributos e royalties dos recursos fósseis, no contexto da transição energética.

Conforme apontado por Borkehagen (2021), propostas de taxaço estão sendo discutidas pelo governo da Noruega, seguindo o exemplo da taxaço da renda da hidroenergia⁴⁹ já estabelecida desde 1997. Dentre as razões apontadas para a taxaço está a perspectiva de aumento de rentabilidade do setor causada pela redução do custo de capital e expectativa de preços de eletricidade mais elevados no futuro.

A taxaço dos recursos eólicos seguiria o mesmo desenho utilizado para a taxaço da renda dos recursos hidroenergéticos no país - atualmente em 37% - incidente no valor da RR calculada como base, conforme a Equação 9 a seguir:

⁴⁹ Cujá matriz elétrica atual é de aproximadamente 94% hidrelétrica e 4% de fonte eólica.

$$\text{Resource rent} = (\text{spot price} \times \text{actual production}) - (\text{operating costs}) - (\text{license fee}) - (\text{corporate and property taxes}) - (\text{deductions}) - (\text{uplift}) \quad \text{Equação 9}$$

Segundo Borkenhagem (2021), as parcelas “*uplift*” e “*deductions*” são ajustes para balizar a taxaço, garantindo uma taxa de retorno normal (baseada na taxa livre de risco) para que os custos de capital sejam totalmente deduzidos.

Conforme se pode perceber, a Equação 9 tem similaridade com o método do valor residual (RVM) proposto para estimativa das rentas de recursos no âmbito do SEEA.

Se a literatura para recursos energéticos renováveis não esgotáveis é limitada (ROTHMAN, 2000), na perspectiva das contas ambientais, a bibliográfica disponível referente a esses recursos é ainda mais escassa. (WORLD BANK, 2021).

Destaca-se o estudo experimental realizado pelo *Statistics Netherlands* (CBS) (2011) de estimativa do valor do recurso energético eólico Holandês através do método do valor residual (RVM) para o período 1990-2010.

Em seção anterior foi apresentada as etapas para estimativa do método do RVM através das informações de Contas Nacionais. No entanto, no estudo do CBS foi utilizado um método híbrido, estimando as parcelas para cálculo da RR através de obtidos das contas nacionais complementados com outras fontes e estudos externos (dados físicos e monetários).

A produção foi estimada através da equação 10 a seguir (CBS, 2011):

$$W_{in}^j = P_i * Q_{in}^j * \text{fator de correção} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

W_{in}^j : valor monetário do “produto renovável” i da tecnologia j

P_i : preço básico do produto renovável i

Q_{in}^j : produção (física) do produto i pela tecnologia j

O preço médio da energia elétrica foi calculado dividindo-se o VBP anual da atividade específica de geração elétrica pela produção física anual da eletricidade gerada por todas as fontes. Como o VBP não inclui impostos e margens, o preço é considerado básico. O fator de correção ajusta o preço médio para o fato de que a eletricidade gerada pelas eólicas ser orientada por oferta não controlável (*supply*

driven)⁵⁰. A eletricidade de fontes que são capazes de se ajustar a demanda possuem um atributo que tornam seu preço mais alto do que a eletricidade de fontes intermitentes. Por outro lado, deve-se destacar também o atributo de renovabilidade que torna a fonte mais valorizada em relação às fontes fósseis.

O consumo intermediário dos produtores de energia eólica foi definido como a soma dos custos de manutenção, dos custos de desequilíbrio⁵¹ e serviços de rede. Os custos de manutenção e outros custos de materiais foram estimados usando informações de custos típicos de estudos do setor. Já o estoque de capital foi estimado através de aplicação do método PIM, considerando a estimativa de investimentos a partir da década de 90, onde os investimentos levaram em conta as despesas com turbinas, fundações, infraestruturas associadas, inclusive às de ligação à rede.

Como parâmetros, foi utilizada uma taxa de desconto real de 4%⁵² e o valor do ativo eólico e foi calculado como a RR corrente dividida pela taxa de desconto, o que significa, na prática, assumir que as RR futuras são iguais a RR corrente e o uso do recurso é utilizado *ad infinitum*.

O estudo apresentou dois resultados na aplicação do método para renda de recursos: um chamado de renda de recurso social (*social resource rent*), e outro nomeado de renda de recurso baseado no mercado (*market-based resource rent*). Basicamente eles se diferenciaram quanto à inclusão/exclusão de tributos e subsídios no cálculo da RR. O argumento para escolha da renda de recurso baseada no mercado é que ela se aproximaria mais do retorno “puro” do uso do ativo ambiental na produção, uma vez que não leva em conta a “distorção” causada pelos subsídios específicos à produção.

Por outro lado, a RR social se justificaria pelo entendimento de que ela refletiria o valor do recurso levando em consideração a preferência da sociedade⁵³. Os subsídios seriam uma forma de levar em consideração as externalidades evitadas⁵⁴ da produção de eletricidade de base fóssil. A redução de externalidades - refletido na valoração dos meios para produzir bens e serviços - seria subestimada ao seguir as regras de

⁵⁰ O preço da eólica foi de aproximadamente 95% da energia de fontes não intermitentes e essa diferença foi tida em conta na determinação do preço da energia eólica ao longo do tempo pelo estudo.

⁵¹ Criado por diferenças nos programas predefinidos e no consumo ou produção real.

⁵² Essa taxa de 4% é utilizada de forma predominante em exercícios de valoração de ativos ambientais em países europeus, próxima à média da taxa de retorno dos títulos públicos (*Eurostat*).

⁵³ Os subsídios à energia eólica concedidos pelo governo seriam a expressão da preferência pela sociedade por uma matriz mais limpa, por exemplo.

⁵⁴ As externalidades seriam internalizadas na política fiscal do governo.

valoração do SNA. Argumentou-se ainda que o resultado sem a exclusão dos subsídios é mais fiel às condições reais de mercado e do lucro efetivo das empresas do setor (CBS, 2011).

Como resultado, a RR 'baseada em mercado' resultou negativa em toda série histórica analisada - o que significa um valor econômico nulo para o recurso energético eólico Holandês. Por outro lado, enquanto a RR 'social' nos anos iniciais da série apresentou valores negativos, a partir de 2005 passa a ser consistentemente positiva, apesar de decrescente a partir de 2009. Mesmo positivo, a publicação comparou o valor dos recursos energéticos estimados a partir da renda social, onde este representou, em 2010, apenas 3% do valor dos recursos de gás natural (CBS, 2010).

Finalmente, a publicação mais recente *Changing Wealth of Nations 2021 – CWON 2021* (WORLD BANK, 2021) propõe uma abordagem prática para avaliação de ativos de energia renovável, dialogando com o SNA e SEEA no contexto da discussão metodológica em andamento. Realizou, em caráter experimental, a valoração dos recursos energéticos renováveis dos principais países⁵⁵ em termos das maiores capacidades instaladas de eletricidade renovável. Os recursos avaliados foram os de energia hidráulica, solar e eólica, para o período compreendido entre 1990 a 2017.

O método adotado pelo CWON 2021 foi o RVM/VPL, conforme a Equação 11 abaixo, similar à proposta apresentada pelo CBS. A estimativa da RR por essa equação foi utilizada como alternativa ao SEEA na ausência de informações desagregadas o suficiente das contas nacionais para todos os países analisados. Mesmo que muitos países separem a atividade de geração elétrica da transmissão e distribuição, dificilmente haverá dados disponíveis que desagreguem a atividade de geração elétrica por tipo de fonte. Dessa forma, o cálculo da RR da atividade de geração elétrica por cada fonte foi calculado utilizando fontes e estimativas externas do setor.

$$RR_t^i = RT_t^i - O\&M_t^i - (rK_t^i + \partial^i) \quad \text{Equação 11}$$

As parcelas da equação são explicadas em seguida:

As receitas totais (RT_t^i) são as vendas anuais do recurso pela atividade econômica específica associada à extração do recurso natural que se deseja estimar. Além disso,

⁵⁵ Os países foram Alemanha, Austrália, Brasil, Canadá, China, Espanha, Estados Unidos, França, Índia, Itália, Japão, Reino Unido, Rússia, Suécia e Turquia. Juntos, representaram mais de 70% da capacidade hidrelétrica instalada global; mais de 86% da capacidade de eletricidade solar (fotovoltaica e solar concentrada); e mais de 87% da capacidade global de eletricidade eólica (*offshore* e *onshore*), em 2017 (WORLD BANK, 2021).

os tributos e taxas específicas pagas pelos produtores devem ser adicionados às receitas; da mesma forma, os subsídios específicos recebidos devem ser deduzidos do valor das vendas.

As receitas anuais de geração de eletricidade a partir de energia renovável foram estimadas, no caso da energia hidrelétrica, multiplicando as quantidades anuais de eletricidade gerada pelo preço *spot* médio da eletricidade de cada país, sem ajuste de subsídios. Como justificativa, o argumento foi o de que a geração hidrelétrica, por ser uma tecnologia madura, de longa data e operar a custos relativamente baixos, não se espera que ela venda eletricidade a preços superiores ao preço *spot* médio em um mercado de eletricidade competitivo⁵⁶. No caso das outras fontes, a receita também foi calculada, na prática, com o preço *spot* médio, uma vez que, na ausência de dados de subsídios específicos de cada país, assumiu que a diferença entre o preço específico da fonte (quando disponível) e o preço *spot* médio resulta no que seriam os subsídios (portanto, subtraídos da receita).

Quanto às quantidades anuais de eletricidade de cada tipo gerado, foram utilizados dados específicos extraídos de bancos de dados globais⁵⁷.

Os custos de operação e manutenção ($O\&M_t^i$) incluem custos diversos, tais como: a remuneração dos empregados, operação e manutenção dos ativos fixos e outras despesas necessárias ao funcionamento corrente das atividades. Esses custos foram calculados, para cada tipo de geração, como uma proporção fixa do investimento específico de cada país.

Os custos de capital ($rK_t^i + \partial^i$) foram separados em dois componentes: um se refere ao retorno do capital empregado no processo produtivo, apresentado como uma taxa anual de retorno dos ativos produzidos (r) aplicada ao estoque de capital produzido utilizado (K_t^i); o outro que se refere ao custo de depreciação desse mesmo estoque de capital. O custo de depreciação (∂^i) pode ser entendido, grosso modo, como o consumo de capital fixo⁵⁸. A estimativa do estoque de capital foi calculada através da abordagem PIM.

O estudo assumiu as seguintes taxas de retorno: 8% para Brasil, Rússia e Turquia; 10% para Índia e China; e países da OCDE, 4%. Quanto à taxa anual de depreciação

⁵⁶ Os autores destacam a preocupação quanto a distorções nos mercados de energia renovável pelo fato de que nem todos os países tiveram seus mercados desregulamentados.

⁵⁷ Estatísticas de Energia (*UNdata*) ou o banco de dados Energia Renovável da IRENA (WORLD BANK, 2021).

⁵⁸ Conceitualmente, a depreciação se diferencia do consumo de capital fixo por uma série de razões, dentre as quais o fato de a depreciação ser tradicionalmente registrada a custos históricos nos balanços das empresas.

dos ativos produzidos utilizados na geração renovável, foram utilizados os valores de 2% e 4% para geração hidrelétrica e geração solar/eólica, respectivamente, aplicadas em todos os países.

A abordagem assumiu uma série em que as RR futuras são iguais à RR do período corrente em que se baseia o cálculo, para cada uma das três fontes renováveis. A escolha por projetar um fluxo futuro constante segue a forma padrão usada para outros ativos de recursos naturais nas publicações do CWON.

Para a escolha da vida útil, em vez de adotar uma vida útil média relativa aos equipamentos e projetos envolvidos na geração, o estudo focou na característica de não esgotabilidade dos próprios recursos energéticos, assumindo que a renda fluirá indefinidamente.

Além da RR corrente e seu padrão futuro, o estudo utilizou uma única taxa de desconto (i) para todos os três recursos em todos os países analisados, também seguindo a prática das publicações anteriores para avaliação de outros ativos de recursos naturais (4%).

Os resultados do estudo mostraram rentas negativas para os recursos de energia solar fotovoltaica (PV – do inglês, *photovoltaic*) e solar concentrada (CSP – do inglês *concentrated solar power*)⁵⁹ em todos os países durante todo o período avaliado. Já para a energia eólica, que combinou a energia eólica *onshore* e *offshore* para os países que produzem em ambos os ambientes, os resultados foram mistos e voláteis, embora predominantemente negativos para a maioria dos anos e países.

Como justificativa para os resultados negativos de energia solar e eólica, o estudo argumentou a relativa imaturidade das tecnologias para essas fontes, ainda muito subsidiados, mesmo que estes estejam diminuindo gradualmente no período.

No que diz respeito aos ativos energéticos hídricos, estes apresentaram valores positivos em praticamente todos os países e anos analisados. A Figura 2 ilustra os resultados do CWON 2021 para o Brasil para os anos analisados (dólares de 2018).

⁵⁹ Apenas a China, Índia, Espanha e EUA produziram eletricidade a partir de ativos solares PV e CSP, conjuntamente, no período.

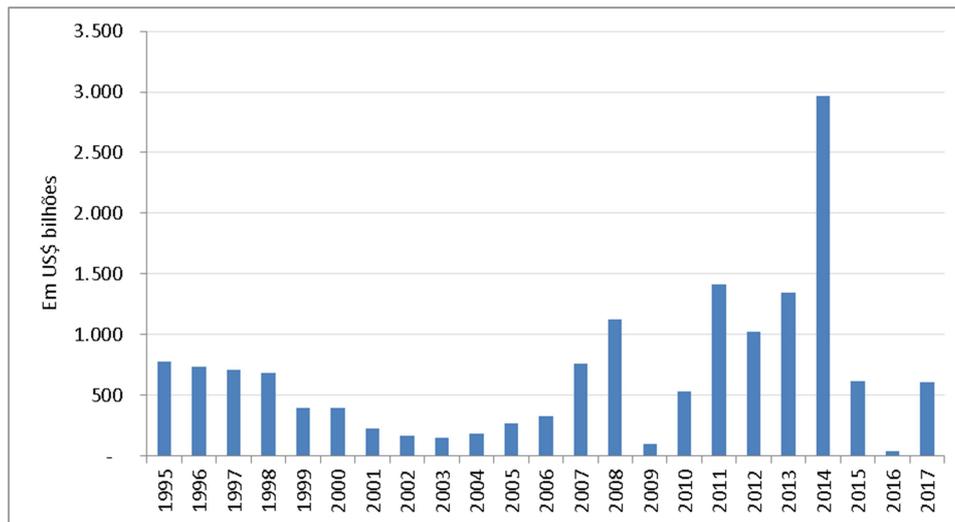


Figura 2 Valor dos ativos energéticos hídricos brasileiros entre 1995 e 2017 (CWON 2021)

Fonte: Elaboração própria com dados do WORLD BANK (2021).

O estudo do CWON argumenta que a existência de valores positivos para esses ativos corrobora para validar o uso da abordagem RVM/VPL. A explicação fornecida foi a de que o mercado hidrelétrico, por ser maduro - cuja produção em larga escala ocorre, sem grandes mudanças tecnológicas⁶⁰ - já estaria em equilíbrio de longo prazo.

Observa-se ainda pela figura 2 uma variabilidade anual significativa no valor do ativo hídrico, sobretudo a partir de 2009, chegando a apresentar variação anual de 1560% em 2014.

Uma possibilidade para lidar com a possível (e provável) volatilidade da RR é utilizar estimativas baseadas em regressão ou médias móveis como base para as RR futuras. Como exemplo, pode-se citar o caso do Australian Bureau of Statistics (ABS) (2013), que, em sua estimativa para uma série de recursos minerais e energéticos, assume que os preços futuros, os custos e os volumes de extração são constantes e iguais à média dos últimos cinco anos disponíveis. O SEEA admite essa possibilidade. Em todos os casos, é fundamental que haja clareza em todos os pressupostos adotados relativos à expectativa de preços e custos futuros para facilitar a interpretação dos resultados da série histórica.

Neste capítulo foram apresentados estudos diferentes que, embora relacionados à rentas para recursos energéticos renováveis, eles podem ser separados, basicamente,

⁶⁰ Desde a primeira metade do século XX nos países desenvolvidos e, pelo menos, desde a década de 1970 nos demais países (WORLD BANK, 2021).

em dois tipos: os que estimam a renda dos recursos com o objetivo de estabelecimento de um patamar para tributação (*tax rent*) e os que visam à estimativa do valor do recurso energético como ativo.

Outro aspecto observado se refere a como a renda é calculada: se tomando por base uma estrutura de mercado puramente concorrencial, ou o segundo o qual se busca o mercado tal qual ele ocorre na prática, de acordo com seu funcionamento institucional e regulatório. Conforme destacado anteriormente, teoricamente, a renda é determinada utilizando o preço determinado competitivamente menos o custo marginal de produção (ROTHMAN, 2000). Por outro lado, para o SNA, um preço de mercado não deve ser interpretado como equivalente a um preço de mercado livre (UN *et al.*, 2009).

Capítulo 3. Noções do mercado elétrico e das fontes renováveis

Antes de abordar o emprego da metodologia RVM/VPL para os recursos energéticos renováveis solar, eólico e hídrico e apresentar os resultados, é válido fazer uma breve contextualização através de informações do mercado elétrico. Além disso, o presente capítulo traz alguns aspectos técnico-econômicos da infraestrutura associada a cada uma das três fontes energéticas renováveis avaliadas (solar, eólica e hídrica).

3.1 Informações gerais do mercado elétrico

A Tabela 5 resume a atual composição da matriz elétrica brasileira por fonte, número de usinas, potência e a participação de cada fonte na geração elétrica de 2022. As fontes renováveis representam 83,43%, com destaque para a liderança da hidroenergia, seguida da eólica. No caso da fonte solar, a capacidade instalada se refere apenas às usinas centralizadas.

Tabela 5 Informações da Matriz Elétrica Brasileira em 2022 por fonte

	n° Usinas	Potência (GW)	Partic. (%)
Renováveis			83,43
Hídrica	1.364	110	57,0
Eólica	929	26	13,3
Solar*	18.123	9	4,5
Biomassa	627	17	8,6
Não renováveis			16,57
Deriv. de petróleo e outros	2.192	9	4,5
Gás Natural	181	18	9,2
Carvão Mineral	22	3	1,8
Nuclear	2	2	1,0

*Somente geração centralizada.

Fonte: Elaboração própria com base em EPE (2023).

O setor elétrico atual pode ser dividido, basicamente, em quatro segmentos: (1) geração; (2) transmissão; (3) distribuição; e (4) comercialização. Os segmentos são descritos a seguir:

- 1) geração: segmento da indústria de eletricidade responsável por produzir energia elétrica e injetá-la nos sistemas de transporte (transmissão e distribuição) para que chegue aos consumidores. Abrange os agentes conhecidos como centrais elétricas de serviços públicos (CESP), os produtores Independentes (PIE) e os autoprodutores.

A geração pode ser separada, ainda, em geração centralizada e geração distribuída:

- geração centralizada é um modelo com grandes geradores agrupados, formando usinas ligadas aos sistemas elétricos regionais ou nacionais;
- geração distribuída (GD) é um modelo em que inúmeras unidades geradoras de menor porte geram eletricidade no próprio local de consumo, ou em uma área próxima. Embora a GD mais conhecida seja a solar, não é restrita a essa fonte. Caso o consumo de uma unidade GD seja menor que a produção, o excedente poderá ser injetado na rede da distribuidora local.

- 2) transmissão: a transmissão é a atividade de transporte de energia produzida pelos geradores até os centros de consumo. A tarifa de uso do sistema de transmissão é a contrapartida dos serviços de transmissão.
- 3) distribuição: o segmento de distribuição é responsável pela entrega da energia aos consumidores finais. Possui como principal ativo a extensão da capilaridade das redes de distribuição onde atua por concessão em regime de monopólio. A tarifa é regulada. A tarifa de uso do sistema de distribuição é cobrada pelo segmento pelos serviços de distribuição de energia.
- 4) comercialização: com a reestruturação do setor elétrico em 1998 emergiu a figura do comercializador de energia. Embora não obrigatório, esse agente atua intermediando as transações de compra e venda entre os geradores e consumidores, além de interagir com outros comercializadores. Pode haver, ainda, outros tipos de agentes comerciais, como importadores e exportadores, que possuem autorização para negociar contratos de compra e venda de energia.

O segmento de geração é a atividade econômica de foco para a aplicação do método RVM/VPL para estimativa do RR. As receitas da geração derivam das vendas realizadas nos ambientes de comercialização: (a) de contratação regulado (ACR); (b) de contratação livre (ACL); e (c) mercado de curto prazo (MCP).



Figura 3 Esquema do mercado de energia elétrica no Brasil.

Fonte: CCEE (2021a).

Resumidamente, no (a) ambiente de contratação regulada (ACR), a eletricidade produzida é vendida às distribuidoras por meio de leilões regulados. As distribuidoras, por sua vez comercializam a energia adquirida ao consumidor final (ou cativo) a preços regulados.

No (b) ambiente de contratação livre (ACL), conhecido como “mercado livre”, a produção é vendida a consumidores livres diretamente, através de contratos bilaterais, onde há liberdade para negociar a energia em volumes, preços e prazos de suprimento conforme regras e procedimentos de comercialização estabelecidos. O acesso a esse mercado está limitado a determinados requisitos mínimos de demanda.

Atualmente, cerca de 60% da energia consumida é oriunda do mercado regulado, onde o setor residencial tem participação de aproximadamente 50%. Já a parcela consumida do mercado livre ainda é bastante concentrada no setor industrial (80% em 2022), embora esteja gradativamente perdendo participação ao longo do tempo para o setor comercial e rural (EPE, 2023a).

Já o (c) mercado de curto prazo (MCP) é o ambiente no qual são contabilizadas as diferenças entre os montantes de energia elétrica contratados pelos agentes e os montantes de geração e de consumo efetivamente verificados e atribuídos aos respectivos agentes. No caso de exposições positivas, a energia excedente é vendida.

Por outro lado, quando são negativas, é necessária a compra de energia, valoradas ao Preço de Liquidação das Diferenças (PLD).

O PLD, praticado no MCP, funciona como um preço 'spot' da energia elétrica, servindo de referência para o mercado de energia elétrica como um todo. Representa o comprador e o vendedor de última instância. Nesse sentido, influencia na precificação dos contratos de energia elétrica de médio e longo prazo. Entretanto, o PLD é derivado da otimização da operação do sistema, não sendo, portanto, um preço que resulta de equilíbrio entre oferta e demanda (TOLMASQUIM, 2015).

Em função da preponderância de usinas hidrelétricas no parque de geração brasileiro, são utilizados modelos matemáticos que têm por objetivo encontrar a solução ótima de equilíbrio entre o benefício da geração hidrelétrica no presente (com o uso da água dos reservatórios) e o benefício de despachar hidrelétricas no futuro (manter a água armazenada). O PLD resulta da solução desse problema de otimização, com orientação para o despacho das usinas hidrelétricas centralizadas. Entre os resultados obtidos, destaca-se o Custo Marginal de Operação (CMO). Segundo Tolmasquim (2015), o CMO equivale ao custo de atender a uma carga incremental sem expandir a capacidade instalada e é a principal referência para o PLD.

Portanto, destaca-se que enquanto a energia elétrica é comercializada com base em questões contratuais e contábeis, a sua geração efetiva, gerida pela ONS, é organizada e despachada segundo uma lógica centralizada, ou seja, considerando o conjunto do sistema. Compete a ONS determinar quanto cada usina deve produzir a cada momento, independente dos contratos, considerando uma série de questões, tais como: condições hidrológicas, climáticas, as fontes renováveis não controláveis, a MMGD, demanda, preço dos combustíveis, as novas usinas, disponibilidade dos equipamentos etc.

A comercialização no SIN tem por base a chamada garantia física. A garantia física do SIN corresponde à quantidade máxima de energia que esse sistema pode suprir conforme determinado critério de garantia de suprimento. Essa energia é rateada entre todos os empreendimentos de geração que constituem o sistema para obtenção da garantia física individualizada de cada empreendimento de geração (CCEE, 2021b). Foi criada com o propósito de resolver as contradições de uma lógica centralizada de geração e a comercialização individualizada das usinas. Portanto, em termos práticos, a garantia física é a quantidade de energia que cada gerador pode comprometer em seus contratos de comercialização de energia (TOLMASQUIM, 2015).

A seguir serão destacados alguns encargos e subsídios relacionados às fontes energéticas renováveis.

Alguns encargos se referem à cobrança de *royalties* e taxas específicas pelo uso dos recursos naturais. Embora mais expressivas no caso do petróleo e gás, também é comum a incidência desses encargos nas fontes hidrelétricas em diversos países⁶¹. Para o Brasil, pode-se citar:

- CFURH – Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos
- UBP - Uso de Bem Público
- Royalties de ITAIPU

Em relação aos subsídios, é importante fazer breve contextualização, uma vez que, globalmente, o desenvolvimento das fontes renováveis foi impulsionado pelo uso desses instrumentos.

O grande crescimento das tecnologias de aproveitamento dos recursos energéticos renováveis foi fruto de políticas de promoção e inserção através de vários mecanismos. Essas políticas encorajaram investimentos, possibilitando, assim, o a experiência recente de crescimento do setor de renováveis.

Historicamente, citam-se alguns mecanismos importantes realizados para o desenvolvimento das indústrias de energia alternativas aos fósseis, tais como: a taxaço de carbono, os mercados de créditos de carbono e emissões evitadas, os sistemas *feed-in-tariffs* (FIT) e sistemas de leilões específicos para venda de eletricidade oriunda de fontes renováveis.

As tarifas do tipo *feed-in* possibilitam a realização de contratos de compra e venda de energia de longo prazo, com pagamento da totalidade da energia gerada a um valor atrativo e que compense os custos do projeto, geralmente acima dos valores de mercado das fontes concorrentes, e assim dando maior estabilidade financeira aos projetos. Já os regimes de leilões, o governo abre concorrência para adquirir certa capacidade ou geração de eletricidade, dos quais os leilões específicos para energias renováveis visando maior segurança para investimento nesses projetos. Os leilões ganharam maior popularidade a partir de 2015 nos países em desenvolvimento (EPE, 2016a).

⁶¹ Dentre os quais os países grandes produtores de hidroenergia, como China, Canadá e EUA.

No Brasil, um exemplo de incentivo do tipo de FIT se deu no Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), estabelecido em 2002, no contexto da crise energética de 2001. A visão do programa era criar incentivos ao desenvolvimento de fontes alternativas de energia, atuando em projetos eólicos, PCHs e projetos de geração a partir de biomassa, estabelecendo valores específicos para a energia vendida por cada tipo de fonte por 20 anos⁶².

Dentre outros exemplos importantes de incentivos no país foram as melhores condições de financiamento, por exemplo, pelo BNDES e Banco do Nordeste, para financiamento de investimentos em tecnologias de geração renováveis. (EPE, 2016a).

Pode-se citar ainda, as desonerações tributárias no âmbito do Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI); a possibilidade de aderir ao regime de tributação de lucros mais favorável; o desconto na tarifa de uso do sistema de transmissão (TUST) e na tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD) para fontes incentivadas (CDE – fonte incentivada)⁶³ entre outros.

3.2 Recurso energético solar

Mundialmente a energia solar é a fonte que apresenta o maior crescimento em termos de capacidade instalada nos últimos anos (Tabela 6), assim como ocorre no Brasil.

Tabela 6 Evolução da capacidade instalada por região – Solar

Regiões	2000-2003	2004-2007	2008-2011	2012-2015	2016-2019	2 020	2 021
Africa	15	30	179	1.266	6.575	10.819	11.628
Asia	633	1.773	5.438	50.926	240.401	410.326	485.413
America Central + Caribe	4	12	64	460	1.828	2.799	3.581
Eurasia	1	2	6	100	4.406	8.243	9.761
Europa	377	2.995	28.304	87.130	120.587	162.795	190.143
América do Norte	655	1.083	3.467	17.567	53.470	86.493	107.192
Oceania	34	62	1.007	4.969	9.153	18.357	23.342
América do Sul	4	9	36	437	4.834	13.164	20.795

Inclui PV e CSP.

Fonte: Elaboração própria com dados da IRENA (2022).

⁶² O Decreto nº 10.976, publicado em 17 de setembro de 2021, que regulamentou o art. 23 da Lei 14.182 (Lei da Eletrobrás), definiu as condições para a prorrogação optativa do Proinfa, alterando o preço teto e índice de correção; o fim dos descontos das tarifas de transmissão e distribuição (TUST e TUSD), ainda em período de transição.

⁶³ Fontes incentivadas se relacionam a empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias renováveis enquadradas em resolução normativa da ANEEL.

O país possui privilegiada localização geográfica, com elevados índices de incidência da radiação solar. Além disso, diferentemente de outras fontes, a energia solar possui seu recurso disperso de maneira relativamente uniforme no território nacional (EPE, 2020b).

Um desafio para o uso generalizado da energia solar é a restrição de produção de energia quando no período noturno ou quando há bloqueio causado por nuvens temporárias ou em dias mais ou menos nublados, causando variações de potência significativas. O comportamento aleatório de nuvens pode resultar em rápidas variações da irradiação solar e, portanto, da geração de energia elétrica (EPE, 2020a).

A variabilidade da geração fotovoltaica (PV) é uma das dificuldades técnicas mais significativas para sua inserção em larga escala - seja em geração centralizada ou distribuída – pois tem que lidar com picos e vales na curva de geração elétrica.

A tecnologia fotovoltaica, de maneira geral, tem experimentado uma redução de custos ao longo dos anos recentes, em razão de inovações tecnológicas, aumentos na eficiência e economia de escala, entre outros fatores de incentivo para seu desenvolvimento.

A vida útil de um equipamento dependerá das suas características, da forma e da intensidade com que são usados, bem como dos fatores ambientais onde esses equipamentos estão dispostos.

No caso da energia solar, considerando a existência de vários tipos de células fotovoltaicas, a vida útil estimada de um painel solar é de 25-35 anos, podendo operacionalmente durar mais que esse tempo (CHOWDHURY *et al.*, 2020; WADE *et al.*, 2016). Por sua vez, os inversores costumam ter vida útil mais curta (média de 10 anos) (PINHO; GALDINO, 2014 APUD EPE, 2016a).

3.3 Recurso energético eólico

O aproveitamento da energia eólica para geração elétrica tem crescido expressivo no mundo nos últimos anos, conforme mostra a Tabela 7.

A maior parte dos parques eólicos está instalada em terra (*onshore*), porém há centrais instaladas no mar (*offshore*). Em 2021, em relação ao total da capacidade instalada das eólicas, as *offshore* representavam apenas 6,6% desse total, concentradas majoritariamente na China, Reino Unido e Alemanha (IRENA, 2022).

Tabela 7 Evolução da capacidade instalada por região – Eólica *onshore*

Regiões	2000-2003	2004-2007	2008-2011	2012-2015	2016-2019	2 020	2 021
Africa	144	319	789	2.147	4.852	6.515	7.370
Asia	2.355	9.187	41.005	116.611	215.037	322.884	357.127
America Central + Caribe	82	124	288	931	1.694	1.965	1.992
Eurasia	25	73	1.065	3.305	6.824	9.868	12.652
Europa	20.168	44.005	77.369	116.977	158.774	182.983	195.635
América do Norte	4.358	11.907	40.148	75.384	109.590	138.765	154.436
Oceania	157	1.031	2.332	4.145	5.956	9.346	9.917
América do Sul	48	187	1.062	5.431	17.127	24.035	29.755

Fonte: Elaboração própria com dados de IRENA (2022).

O desenvolvimento de eólicas no mar se deve a alguns fatores, dentre eles a redução das áreas terrestres adequadas a novos empreendimentos (notadamente na Europa) e devido a seu bom potencial (maior qualidade dos ventos), embora apresentem custos mais elevados (EPE, 2016a). No Brasil, há a expectativa de que sejam produzidos 700 GW de energia caso todo o potencial eólico brasileiro seja explorado, segundo o IBAMA⁶⁴, órgão governamental responsável pelo licenciamento ambiental desses empreendimentos (BRASIL, 2022).

Parques eólicos são definidos como agrupamento de aerogeradores posicionados convenientemente em um mesmo perímetro (ATLAS, 2001 *APUD* EPE, 2016a). Trata-se de um grupo de turbinas eólicas interligadas através de cabos de média tensão e fiações de comunicação conectados a uma subestação e a um prédio de comando, ligados à rede elétrica nacional (EPE, 2016a).

A vida útil real dos projetos eólicos se modificou ao longo dos anos, à medida que a indústria eólica amadureceu. Conforme pesquisa de Wisser e Bolinger (2019) as estimativas atuais dos projetos eólicos variam entre 25 até 40 anos⁶⁵. Os autores destacaram que houve aumento estimado de vida dos projetos típicos, de um prazo aproximado de 20 anos no início dos anos 2000 para 25 anos em meados de 2010 e, mais recentemente, para 30 anos.

A implantação dos parques e frotas de turbinas eólicas ainda é relativamente nova no mundo e Brasil. Para o mercado europeu, o relatório Wind Energy in Europe Outlook 2023 (WindEurope, 2019 *APUD* EPE, 2021) apontou que cerca de 22 GW de

⁶⁴ Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

⁶⁵ Embora haja diferenças de estimativa média de vida útil entre os diferentes equipamentos que compõem o sistema. A vida útil de pás das turbinas eólicas é de cerca de 20 a 25 anos, enquanto a vida útil do gerador e equipamentos adjacentes é de 15 a 20 anos. Já os sistemas de torre e fundação têm uma vida útil que varia entre 25 a 35 anos em média (EAWA, 2021).

projetos eólicos que alcançaram 20 anos no período de 2019 e 2023. Já o estudo da Wood Mackenzie (EPE, 2021), cerca de 65 GW de capacidade instalada na Europa atingirão o fim da vida útil de 20 anos até 2028. No Brasil, até 2030, mais de 50 parques alcançarão a faixa dos 20 anos de operação, representando mais de 600 aerogeradores e de 940 MW de potência (EPE, 2021).

3.4 Recurso energético hídrico

A questão do recurso hidrelétrico está conectada, fundamentalmente, ao recurso natural subjacente água⁶⁶. A água possui usos múltiplos, ou seja, a água para transformação energética é apenas uma entre as diversas funções ambientais da água.

A hidroeletricidade depende fundamentalmente da infraestrutura hidráulica instalada. Uma usina hidrelétrica é composta, basicamente, de barragem; sistemas de captação e adução de água; casa de força, onde ficam as unidades geradoras (turbina e gerador); e vertedouros (EPE, 2016a).

De acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), as usinas hidrelétricas estão classificadas em termos de potência instalada, em Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), com potência instalada de até 3 MW; Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), com potência superior a 3 MW até 30 MW; e Usinas Hidrelétricas de Energia (UHE), com potência instalada superior a 30 MW.

Outra classificação comum é quanto ao regime operativo dos reservatórios. Pode-se dividi-los em: reservatórios de acumulação e a fio d'água.

Usinas com reservatório de acumulação caracterizam-se pela sua capacidade de armazenar grandes quantidades de água, o que permite uma atuação no sentido de amenizar a sazonalidade da hidrologia. A capacidade de geração de energia depende não apenas da vazão afluente, mas também do volume de água armazenada. A água acumulada nos períodos chuvosos pode ser utilizada para garantir a geração nos meses ou anos mais secos. (EPE, 2016a). Dessa forma, embora limitada por fatores naturais, as hidrelétricas com capacidade de armazenamento possuem o atributo de trazer de maior confiabilidade e segurança ao sistema elétrico.

⁶⁶ O entendimento do SEEA-CF é o de que o valor dos recursos hidrelétricos deve ser considerado parte do valor da água. Essa é uma questão ainda pouco desenvolvida, tendo em vista dificuldades metodológicas para considerar o valor da água de uma forma mais abrangente.

Usinas a fio d'água podem apresentar pequena capacidade de armazenamento, permitindo alguma flexibilidade operativa ao longo do dia, mas produzem energia elétrica predominantemente em função do fluxo hídrico afluyente. Para este tipo de usina, o reservatório é construído para garantir uma altura de queda, com base na qual são definidos o tipo e a dimensão das turbinas geradoras. Já nas usinas com reservatório de acumulação, o volume d'água do lago formado pela área alagada e o nível do reservatório tem maiores dimensões.

O potencial hidrelétrico costuma ser explorado de forma conjunta através da construção de usinas em sistema de cascata, onde usinas menores a jusante se beneficiam da regularização da vazão do rio proporcionada pela operação do reservatório de acumulação a montante.

A energia hidrelétrica também é dependente das condições climáticas, estando sujeitas à incerteza do regime pluviométrico. No Brasil, além do papel dos reservatórios de acumulação, a distribuição geográfica das bacias hidrográficas, suas dimensões continentais e variabilidade sazonal das chuvas trazem maior complementariedade entre as regiões, e conseqüentemente, contribuindo historicamente para mitigar a vulnerabilidade do sistema. Essa arquitetura combinada entre recursos naturais, capital produzido e gestão operativa foi responsável pela base da geração elétrica no país.

Pode-se perceber pela Tabela 8 que a evolução da capacidade instalada hidráulica, por ser uma tecnologia de geração historicamente consolidada, apresenta ritmo de crescimento recente bastante inferior ao das tecnologias para geração solar e eólica.

Tabela 8 Evolução da capacidade instalada por região – Hidroeletricidade

Regiões	2000-2003	2004-2007	2008-2011	2012-2015	2016-2019	2 020	2 021
Africa	22.749	23.479	25.770	28.484	34.307	37.111	37.592
Asia	206.674	260.354	354.217	461.329	536.591	570.238	594.474
America Central + Caribe	4.203	4.771	5.413	6.495	7.939	8.271	8.310
Eurasia	61.599	64.131	68.038	78.526	84.559	88.811	89.707
Europa	193.716	199.147	205.447	211.658	219.901	223.065	224.498
América do Norte	177.297	182.289	187.173	190.447	196.730	197.886	199.194
Oceania	13.989	14.070	14.089	14.213	14.361	14.499	14.499
América do Sul	113.956	125.974	136.084	147.715	170.565	178.112	178.358

Fonte: Elaboração própria com dados de IRENA (2022).

No Brasil, verificou-se um movimento de expansão significativo das hidrelétricas a partir da década de 50 e aprofundado nas décadas seguintes, sobretudo a partir dos choques do petróleo da década de 70. Pela Figura 4 a seguir observa-se que nesse período houve uma intensificação das usinas com reservatórios de acumulação. A partir da década de 90 ocorre redução dos investimentos para a construção de usinas hidrelétricas de maior porte e as usinas a fio d'água passam a ter maior participação na adição de capacidade, sobretudo a partir de 2010.

Dentre os fatores que contribuem para essa inflexão, pode-se citar à forte pressão exercida por setores da sociedade quanto aos impactos socioambientais decorrentes do alagamento de grandes áreas para construção de barragens. Em decorrência desses processos, a capacidade de armazenamento dos sistemas hidrelétricos vem reduzindo-se relativamente ao longo do tempo. E essa tendência tenderá a se agravar à medida que a economia ganhe maior dinamismo.

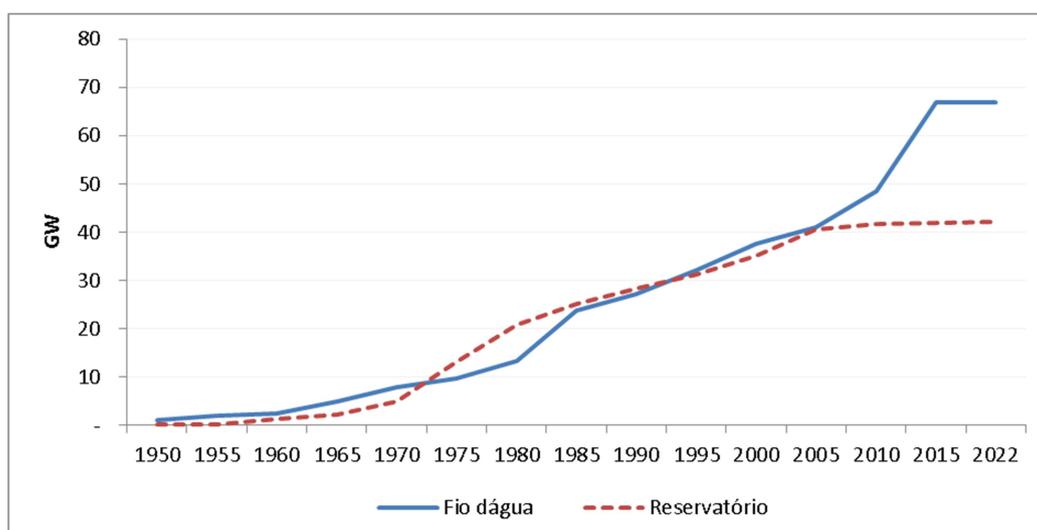


Figura 4 Evolução da capacidade instalada das hidrelétricas por tipo

Fonte: ONS (2023)

No Brasil, parte expressiva do potencial hidrelétrico está situada na região amazônica, caracterizada pela densidade de biodiversidade com grande extensão de áreas protegidas. Assim, as possibilidades de expansão do parque hidrelétrico brasileiro se encontram restritas, exigindo planejamento cada vez mais criterioso, que combinem estudos multidisciplinares e engenharia mitigadora de danos ambientais e medidas compensatórias, tais como: restauração da biodiversidade aliados a projetos de desenvolvimento econômico sustentável e que dialoguem com os direitos das populações tradicionais locais (EPE, 2006; 2016a).

Apesar dos impactos socioambientais associados à forma como foram construídas grandes barragens no passado, as usinas hidrelétricas se destacam quanto a sua contribuição para uma matriz energética de menor emissão de gases de efeito estufa, quando comparadas à geração termelétrica baseada em fósseis.

No atual contexto de transição energética e combate às mudanças climáticas, também há a discussão sobre mudanças no papel das hidrelétricas para maior flexibilidade operacional. A hidroenergia pode desempenhar o papel de trazer maior estabilidade no sistema à medida que a penetração das outras fontes renováveis aumente. Eólica e solar, por serem fontes intermitentes, exigem complementação para maior segurança de atendimento. Nesse sentido, discute-se que as hidrelétricas com reservatórios podem assumir mais o papel de bateria do sistema, em vez de fonte de geração de base. Podem substituir (ao menos parcialmente) a geração térmica, ao também serem capazes de responder rapidamente as intermitências associadas às gerações das fontes renováveis não controláveis, dando maior estabilidade às variações de oferta e demanda.

Apesar de ser altamente intensiva em capital, a geração hidrelétrica uma das fontes mais competitivas. Mesmo sendo maduras, ainda existem possibilidades de desenvolvimento tecnológico, principalmente no que concerne às dimensões físicas, à eficiência hidráulica e ao desempenho ambiental (IEA, 2012 *APUD* EPE, 2016a).

Quanto aos custos de um projeto hidrelétrico, há maior dificuldade de padronizá-los, pois eles podem ser significativamente variáveis de acordo com uma série de aspectos. Dentre eles, pode-se citar o tamanho e especificação dos projetos, da disposição do relevo e hidrogeologia, além das características socioambientais do local, com presença de comunidades, e etc.

A vida útil de operação das usinas hidrelétricas é consideravelmente longa. Quanto aos seus componentes, alguns têm duração de 15 a 20 anos, outros, podem ter uma duração mais longa.

A Figura 5 ilustra essas informações.

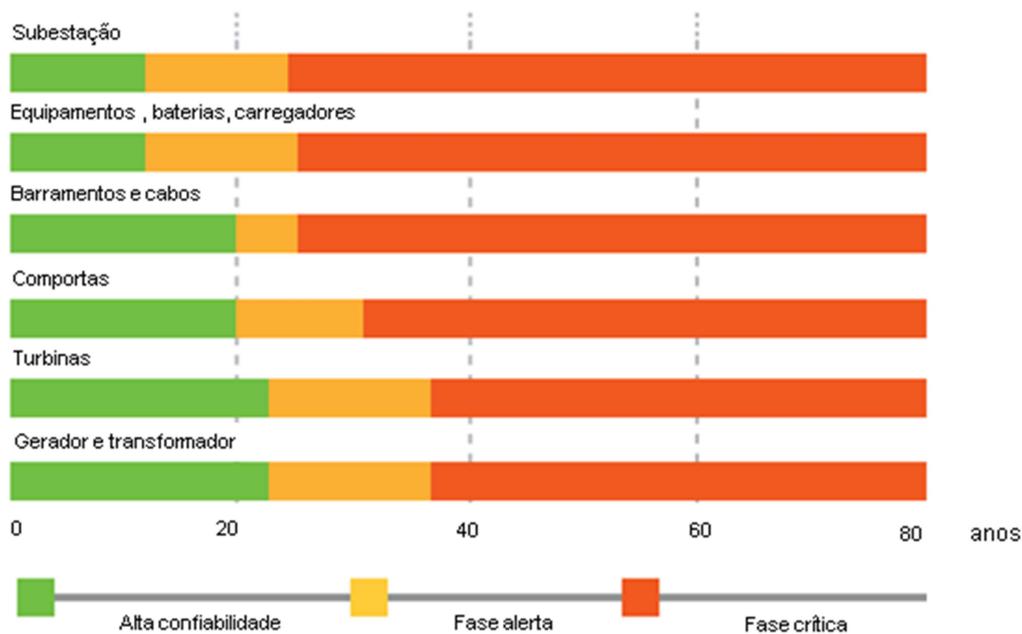


Figura 5 Vida útil de equipamentos e estruturas de usinas hidrelétricas
 Fonte: Voith, Siemes, Aistom, GE, Andritz, Bardella, IMPSA em BID (2019)

O envelhecimento natural dos equipamentos leva ao aumento da frequência e da duração das manutenções, seja na forma de desligamentos programados ou forçados. Ainda pela Figura 5, de acordo com as informações de fabricantes selecionados (BID, 2019), verifica-se que o uso continuado dos equipamentos atinge períodos em que entram em fase de alerta, onde a partir do quadragésimo ano aproximado já se encontram em fase crítica. A operação, nessas condições, poderá resultar em perdas de eficiência.

Nesse contexto, dada a maior restrição ambiental para aumento da capacidade produtiva pela implantação de novos parques hidrelétricos, há a discussão quanto aos ganhos de eficiência através de repotenciação ou modernização dos equipamentos e instalações (BID, 2019).

Capítulo 4. Metodologia e resultados

Este capítulo abordará o exercício prático de aplicação do método RVM aplicado aos recursos energéticos renováveis para obtenção da renda de recursos (RR) conforme metodologia RVM/VPL discutida no capítulo 2. As fontes energéticas serão as eólicas, solar e a hídrica. O exercício apresentado tem a finalidade de exemplificar a aplicação da metodologia sugerida pelo SEEA para os recursos energéticos renováveis considerando o ano de 2021 para o Brasil.

Na ausência de informações desagregadas o suficiente, as estimativas foram construídas com dados e informações de ANEEL, CCEE, EPE, IBGE, ONS, balanços de empresas e fontes públicas diversas. Na falta de informações nacionais disponíveis, foram utilizadas fontes internacionais, como as disponibilizadas pela Agência Internacional de Energia (IEA) e Agência Internacional de energia renovável (IRENA), adaptadas, quando necessário.

Em seguida, as informações para construção de cada uma das parcelas, de acordo com a equação 11 do capítulo 2 (repetida abaixo) serão brevemente descritas.

$$RR_t^i = RT_t^i - O\&M_t^i - (rK_t^i + \partial^i)$$

Em que: RT_t^i são as receitas totais; $O\&M_t^i$ são os custos de operação e manutenção; $rK_t^i + \partial^i$ são os custos de capital; r é a taxa de retorno do capital; K_t^i é o estoque de capital e ∂^i é a depreciação do capital.

4.1 Receitas

As receitas totais são as vendas anuais de eletricidade gerada pela atividade de geração. Para a obtenção dessas informações, o ideal era ter obtido as informações diretamente das empresas e dos empreendimentos específicos de cada uma das fontes. Porém, na prática, sabe-se que a atividade de geração elétrica pode obter receita através de venda de eletricidade gerada por diversas fontes, inclusive utilizando um mix entre renováveis e não renováveis. Consultando o balanço de diversas empresas pode-se observar essa questão, onde informações de receitas e custos associados a determinado recurso específico não se encontram disponíveis.

As receitas totais de cada ano foram calculadas pela multiplicação do total da quantidade de eletricidade efetivamente gerada de eletricidade por cada fonte por um preço médio estimado. Para a fonte solar somente se considerou a geração centralizada (PV). Com dados do CCEE, os montantes gerados foram segmentados de acordo com a sua comercialização entre o mercado regulado e mercado livre. A energia referente ao Proinfa, que conta com preços diferenciados, também foi considerada para as fontes eólica e PCH, de acordo com seus respectivos volumes de eletricidade disponibilizados.

Para o mercado regulado, foram utilizados os preços médios dos leilões de cada fonte. No caso do mercado livre, na falta de informação pública de um preço médio dos contratos efetivamente estabelecidos, utilizou-se uma média entre o preço das fontes incentivadas do mercado livre à mercado (média mês)⁶⁷ e o PLD média mensal, referente a cada um dos três anos (2019-2021). Esses preços médios foram ponderados pelo volume de eletricidade gerada no mês por cada fonte. Entretanto cabe considerar que na prática esses contratos no mercado livre não são públicos e há uma diversidade contratos de curto, médio e longo prazo.

Além disso, os contratos de fornecimento de energia também podem variar em outros aspectos. Há casos onde o valor de cada venda de eletricidade é determinado com base em um encargo sobre a quantidade de energia⁶⁸ ou em um encargo de capacidade ou mesmo um híbrido dos dois tipos. O primeiro se baseia no montante de energia elétrica efetivamente utilizada pelo comprador. Já o segundo é baseado em uma quantidade de capacidade assegurada, especificada em uma quantidade fixa de energia elétrica, independentemente, portanto, do volume de energia elétrica efetivamente entregue. Consequentemente, a cobrança é de um valor fixo, não associado à quantidade de eletricidade fornecida na prática. Exemplos do segundo tipo se encontram em contratos de venda de eletricidade de Itaipu à distribuidores, que são pagos com base em uma taxa de capacidade (ELETROBRÁS, 2022).

Cabe acrescentar que os leilões mais recentes de eólicas (Leilão A-6/2018) e em seguida os de solar fotovoltaica (Leilão A-6/2019) começam a marcar uma mudança da comercialização da modalidade disponibilidade para a modalidade quantidade. Segundo EPE (2019a), essa mudança resulta dos patamares de preço alcançado ao longo dos últimos leilões, refletindo a maturidade atingida por essas fontes.

⁶⁷ Obtidos em Dcide *apud* ABRACEEL (2021).

⁶⁸ No contrato por quantidade, o gerador assume os riscos de mercado associados à variabilidade da produção de energia.

Quando se trata da estimativa de receita para as usinas hidrelétricas, o grau de complexidade é ainda maior, devido às questões mencionadas de independência entre a comercialização (que considerada a garantia física) e a geração; a diversidade de mecanismos, contratos e arranjos existentes. Pode-se citar a receita das usinas hidrelétricas sob regime de cotas, com a Receitas Anuais de Geração (RAG). Outro exemplo é o chamado Mecanismo de Realocação de Energia (MRE), um mecanismo que possibilita a transferência do excedente das usinas que geraram além de suas garantias física certificadas para aquelas que geraram abaixo. Esse mecanismo é aplicado às usinas hidrelétricas despachadas de forma centralizada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

Devido a complexidade, utilizou-se o chamado Preço Médio da Energia Hidrelétrica (PMEH)⁶⁹, calculado pela ANEEL (Lei Complementar nº 158 de 23/02/2017)⁷⁰ para estimativa da receita da geração das UHEs. O PMEH é estabelecido com base no valor médio da energia hidráulica vendida pelas geradoras às distribuidoras de energia elétrica, de forma que envolve um mix de diversos contratos, nos quais as concessionárias adquirem a energia a ser destinada aos consumidores cativos.

Quanto às PCHs e GCHs, utilizou-se os preços e quantidades separadamente, de acordo com as informações disponíveis (por ex. leilões), mesmo havendo ciência de que o PMEH contém parcela da energia vendida por essas usinas.

Assim, essencialmente tentou-se uma maior aproximação ou dos preços praticados em cada mercado ou um preço médio representativo para estimativa das receitas da geração hidráulica.

Além disso, pela metodologia, os tributos específicos pagos pelos produtores devem ser adicionados às receitas; da mesma forma, os subsídios específicos recebidos devem ser deduzidos do valor das vendas.

4.2 Tributos e subsídios específicos

A aplicação do RVM requer dados sobre subsídios e tributos específicos para os produtores de energia renovável. Tributos e subsídios específicos, para fins da metodologia, são instrumentos utilizados pelo governo para parcialmente apropriar ou

⁶⁹ Ajustado pelos impostos sobre produtos, assim como os demais preços médios obtidos para as demais fontes.

⁷⁰ O PMHE foi estabelecido para fins de repartição do produto da arrecadação do ICMS entre os municípios brasileiros.

subsidiar, respectivamente, as operações da atividade de energia⁷¹. Ou seja, devem se aplicar exclusivamente às empresas da geração e não são aplicáveis em toda a economia.

Para os recursos renováveis, os tributos específicos se referem a aqueles diretamente relacionados à produção de energia renovável. Os tributos podem incluir quaisquer *royalties* e taxas pagas, desde que estejam claramente relacionados à produção de energia renovável e não às operações comerciais em geral. Tributos pagos sobre os lucros e valor agregado não são classificados como tributos específicos, uma vez que são cobrados de forma ampla na economia.

Para o Brasil, foram identificados os valores arrecadados de CFURH, UBP e Itaipú, disponibilizados pela ANEEL. Em 2019 eles somaram 3,56 bilhões e em 2021 foram de R\$ 3,8 bilhões aproximadamente, sendo todos associados à geração hidrelétrica. Não foram encontradas informações similares para a geração eólica e solar. As usinas instaladas em terras privadas são realizadas mediante arrendamento de terreno ou similar. No caso da energia eólica, segundo um estudo disponibilizado pela Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeólica), os valores pagos em arrendamento de terras privadas para implantação e operação de aerogeradores foram estimados em torno de R\$ 170 milhões em 2018⁷².

No caso dos subsídios específicos, citados na seção 3.1 (capítulo 3), embora a metodologia recomende subtraí-los, optou-se por não fazê-lo, dadas as dificuldades de ordem prática. Além disso, e possivelmente pela mesma razão, ressalta-se que a dedução dos subsídios não tem sido feita pelos países que compilam as contas de ativos dos recursos energéticos não renováveis fósseis, mesmo sendo conhecido que esses subsídios sejam historicamente significativos.

4.3 Custos de operação e manutenção e custos de capital

Para os custos de operação e manutenção (O&M), comparou-se os valores típicos dos projetos obtidos em EPE, (2016a, 2022b) e IRENA (2022) em (\$/KW)-ano, conforme prática comum em estudos de análise macro. Considerou-se eólica *onshore*, solar fotovoltaica centralizada, e os custos associados à hidroeletricidade - separadas

⁷¹ Nesse sentido, o termo 'tributos' é mais amplo que o entendido no contexto brasileiro.

⁷² O estudo coletou dados das empresas associadas, que representavam 56,01% do total de projetos em operação, extrapolados para o total do setor (ABEEÓLICA, 2020).

entre PCH/CGH e UHE. Além disso, os custos de transporte (transmissão) relativos à geração foram adicionados a esses custos para maior aproximação aos custos intermediários.

Assim como no caso das receitas, na realidade as diversas usinas instaladas possuem custos muito distintos e idealmente a análise deveria considerar um levantamento microeconômico.

Os custos de capital envolvidos na 'extração' dos recursos naturais envolvem pressupostos sobre: o estoque de capital produzido utilizado na extração; sua depreciação e vida útil; além da taxa de retorno desse capital. A seguir essas parcelas serão detalhadas.

4.3.1 Estoque de capital

O método predominantemente utilizado para construção do estoque de capital pelos países que realizam as contas patrimoniais de ativos⁷³ é o método do estoque permanente (do inglês *perpetual inventory method* - PIM) (OCDE, 2009)⁷⁴.

Na estrutura padrão de estoque permanente, o estoque de capital disponível em qualquer período é, grosso modo, a soma do investimento corrente com o investimento líquido acumulado em períodos passados. As estimativas das taxas de depreciação são usadas para transformar o investimento bruto acumulado em estoque de capital líquido.

O estoque de capital produtivo deve se referir a aquele utilizado exclusivamente na geração de energia elétrica com o uso do recurso natural. Com isso, a estimativa de estoque foi construída pelo método PIM com base em informações de investimentos estimados e CAPEX (R\$/KW -ano) histórico de acordo com os projetos típicos do país (EPE, 2022a; IRENA, 2022) para cada uma das fontes, balizados pelos dados e índices de FBCF para construção não residencial e PIB (IBGE e IPEA), evolução física anual da capacidade instalada (EPE) e informações adicionais de literatura (IPEA e outras fontes).

⁷³ Contas de ativos não financeiros, parte das contas nacionais. A maioria dos (poucos) países que calculam conta patrimonial não financeira o faz considerando principalmente o valor do capital produzido. Alguns países divulgam ainda os estoques de recursos minerais e energéticos não renováveis, o valor das terras agrícolas.

⁷⁴ O IPEA atualmente publica séries anuais, trimestrais e mensais dos indicadores de estoque de capital, estimados pelo mesmo método.

Para os parques eólico e solar, por serem infraestruturas mais recentes, o caminho do cálculo do estoque encontrou menos dificuldades, com base em informações de investimentos e CAPEX típico. Para a infraestrutura hídrica, em vez de considerar apenas os dados mais recentes (a partir da década de 90), considerou-se a evolução do parque hidrelétrico desde meados da década de 70, utilizando as informações já mencionadas e outras da literatura (como o percentual histórico da FBCF de energia elétrica, com ajustes⁷⁵) como balizadores do investimento histórico. As estimativas de investimentos para anos mais recentes foram encontradas em EPE (2022b).

4.3.2 Depreciação e vida útil

Quanto à depreciação e a vida útil operacional, estas podem ser analisadas considerando seu aspecto físico-econômico ou pela ótica contábil. A depreciação físico-econômica se refere ao desgaste e obsolescência dos ativos tangíveis e seu impacto na produtividade de uma atividade.

Tanto a depreciação quanto a vida útil operacional estão condicionadas a uma série de fatores, incluindo o tipo de equipamento, a qualidade do material, a localização e as condições climáticas, incluindo a frequência de manutenções realizadas. Esses fatores, entre outros, comprometem a eficiência produtiva. A eficiência produtiva é medida com o fluxo de ganhos que o ativo é capaz de produzir ao longo do tempo. À medida que o ativo sofre desgaste ou obsolescência, o fluxo de benefícios que ele produz geralmente diminui.

Três formas funcionais⁷⁶ costumam ser utilizadas na construção de perfis de depreciação: hiperbólica, linear e geométrica.

Do ponto de vista contábil, a depreciação representa os custos dos ativos ao longo de suas vidas úteis, fazendo parte do balanço das empresas. Nesse sentido, a depreciação, bem como a vida útil esperada⁷⁷, impactam na lucratividade da empresa e viabilidade econômica de um projeto, em que os custos e receitas esperados são avaliados. Ou seja, o reconhecimento da perda ou redução da capacidade de geração de caixa tem impacto direto no valor dos ativos e na rentabilidade de projetos.

⁷⁵ Encontrados em Bielschowsky (IPEA, 2002). Dentre os ajustes, cita-se a interpolação para séries anuais e para isolar a parcela dos investimentos relacionados especificamente à geração hidrelétrica.

⁷⁶ Também chamadas de perfil de idade-eficiência (OCDE, 2009).

⁷⁷ A vida útil esperada se refere à extensão total dos períodos em que o fluxo de caixa dos projetos avaliados são projetados. Também é associada à duração dos contratos firmados de venda.

A depreciação é, assim, uma categoria de custo que se acumula durante todo o período em que o ativo fixo em questão está disponível para fins produtivos. Os períodos contábeis dependerão da taxa de depreciação.

Idealmente, seria necessária a construção de um padrão de depreciação modelado conforme as especificidades dos diversos equipamentos e infraestrutura específica que se deseja avaliar. Tendo em vista o dispêndio de tempo de pesquisa para construção dessas informações, em vez disso, seguiu-se uma abordagem agregada, utilizando os parâmetros resumidos na Tabela 10, em patamar aproximado das médias utilizadas pelo setor. O perfil de depreciação escolhido foi o geométrico (*declining balance*), também utilizado em Souza Júnior e Cornelio (2020) na construção das séries históricas de capital fixo no Brasil.

4.3.3 Taxa de retorno do capital produzido

Quanto à taxa de retorno do capital produzido, duas abordagens são usualmente apresentadas para sua obtenção: a abordagem endógena e a abordagem exógena. (OCDE, 2009). Breve explicação delas é dada a seguir:

- Abordagem endógena

A taxa de retorno média dos ativos para a economia⁷⁸ é entendida como uma razão entre o excedente operacional líquido gerado no período e o valor do estoque de ativos. Isto significa assumir, entre outras questões, que o valor do estoque de capital agregado é suficientemente abrangente, cobrindo todos os ativos relevantes utilizados na produção.

No entanto, o Brasil (assim como grande parte dos países) ainda não dispõe dessas contas. Mesmo que as contas de ativo produzido estivessem disponíveis e fossem suficientemente amplas, e uma taxa endógena pudesse ser calculada, segundo o CWON 2021 (WORLD BANK, 2021), ela ainda assim poderia estar superestimada por não incluir uma parcela dos recursos naturais⁷⁹.

⁷⁸ Essa taxa também poderia ser determinada para um grupo de atividades econômicas em vez da economia, através da relação entre o excedente operacional líquido e o estoque de capital desse grupo de atividades que se supõe ter características semelhantes, mas sem a presença de um recurso natural.

⁷⁹ Essa é, inclusive, uma das justificativas para inclusão dos ativos de energia renovável no estoque de riqueza dos países, para que haja melhor correspondência entre conta de renda e de patrimônio.

Dessa forma, devidos aos problemas citados, deve-se utilizar com cautela uma taxa calculada por essa abordagem para o exercício de avaliação dos ativos ambientais.

Outra possibilidade, sugerida no SEEA, é usar uma taxa de retorno exógena para os ativos identificados (abordagem exógena) (OCDE, 2009).

- Abordagem exógena

A segunda abordagem assume que a taxa de juros média de títulos emitidos por empresas do setor pode ser utilizada como uma *proxy* para taxa de retorno. Trata-se de uma abordagem de custo de financiamento. O argumento de sua vantagem é o de que os retornos estarão mais diretamente associados à operação de capital “na prática”, expressa no preço dos títulos. Deve-se avaliar essa escolha para que se tenha uma taxa que reflita adequadamente o risco específico do setor de atividade e não outros fatores que podem influenciar nesses títulos. Dentre as dificuldades estão a de que, em muitos países, os mercados de títulos corporativos são pouco desenvolvidos, com baixo número de emissões e liquidez.

Outra forma de estimar o retorno do capital produzido é utilizar uma taxa de juros baseada em títulos públicos de longo prazo. A desvantagem do uso da taxa de títulos do governo de longo prazo para representar um “retorno ao capital” apropriado é que ela é uma taxa considerada sem risco. Nesse caso, poderia ser incorporada uma parcela adicional (*spread*) que reflita um prêmio para cobrir o risco e a incerteza envolvidos nas operações da atividade econômica envolvida na extração do ativo ambiental. Ainda assim, os *government bonds* são muito utilizados nos trabalhos envolvendo as contas econômicas e ambientais.

Sem a pretensão de aprofundar a questão teórica, uma vez que foge ao escopo deste trabalho, cabe discorrer brevemente sobre algumas suposições que o uso de taxas exógenas se baseia.

Idealmente, a taxa de retorno do capital do ativo a ser utilizada não é necessariamente a mesma do setor de atividade, mas sim a do ativo de capital fixo utilizado no processo produtivo. Uma empresa pode empregar diferentes ativos que podem ter diferentes graus de risco, liquidez e retorno. Por outro lado, em termos práticos, é muito difícil, mesmo para países com acesso a mais informações, observar a taxa de retorno realizada de um único ativo isoladamente. Por conta disso, assume-

se a justificativa teórica de que não se deve esperar uma taxa de retorno mais alta sobre ativos fixos do que a de um investimento alternativo com risco comparável. Comparar as taxas de retorno de ativo reais a títulos financeiros de mercado traz subjacente a questão do custo de oportunidade do investimento. A teoria sugere uma eficiência de mercado em que o mecanismo de preços igualaria os custos marginais de oportunidade dos investimentos diversos. Nesse sentido, sempre haveria um título financeiro com o mesmo risco de investimento no ativo fixo (OCDE, 2009).

A obtenção desse tipo de informação ou uma estimativa robusta de uma taxa de retorno adequada é uma fonte de preocupação dos países engajados na valoração dos recursos naturais, dificuldade enfatizada nos próprios manuais do SEEA.

Tendo em vista as considerações acima, a tabela 9 traz a seleção de algumas taxas de referência que poderiam ser consideradas elegíveis para a estimativa da taxa de retorno do capital fixo, utilizando o ano de 2021 como exemplo. Dentro da faixa de taxas selecionadas encontram-se desde as mais básicas e genéricas (Notas do Tesouro Nacional), até as mais específicas do setor elétrico, como as calculadas pela ANEEL (taxa regulatória de capital) e as utilizadas no Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) (EPE, 2022b).

Tabela 9 Comparativos de taxas de referência para 2021

WACC Geração - cotistas (ANEEL)	10,5%
WACC PDE (EPE)	6%-10%
Debêntures incentivadas (BRASIL)	7,1%
Cesta de NTN-Bs (ANEEL)	5,6%
NTN-B média 2045	4,5%

Fonte: ANEEL, EPE, BRASIL, Tesouro Nacional.

Como a taxa de retorno do capital será única para os três recursos energéticos naturais, decidiu-se pela abordagem mais conservadora e utilizar uma taxa mais específica do setor (obtida no PDE 2031), calculada pela metodologia do custo médio ponderado de capital (do inglês *Weighted Average Cost of Capital* - WACC) (EPE, 2022b) em vez da taxa livre de risco.

Finalmente, para a taxa de desconto, uma das possibilidades discutidas no SEEA é a de utilizar uma mesma taxa para desconto para os fluxos de RR e para o retorno do capital produzido. Cabe ressaltar, no entanto, que a escolha de taxas iguais pressupõe um caso muito particular de uma situação idealizada de equilíbrio nos mercados de

ativos. Conforme OCDE (2009), num cenário em que todos os ativos são identificados e medidos com precisão, e na qual prevalecem as condições de concorrência perfeita, seja para o caso de uma empresa ou setor, a taxa de desconto e a taxa de retorno devem ser iguais (OCDE, 2009). Tal sugestão, embora tenha a vantagem de facilitar o processo, não parece apropriada tendo em vista seu distanciamento em relação à realidade da economia ambiental.

Cabe ainda mencionar sobre o uso da chamada taxa de desconto social, mais baixa que as taxas de mercado. A lógica escolha utilização de uma taxa mais baixa é a de que os ativos ambientais são de valor amplo e intertemporal para a sociedade como um todo. A taxa de desconto expressa uma preferência de tempo, a preferência do proprietário de um ativo em receber o rendimento agora e não no futuro. Nesse sentido, reflete a percepção em relação ao risco. Em geral, indivíduos e empresas terão taxas maiores de preferência de tempo do que a sociedade (OCDE, 2009; UN *et al.*, 2009).

Por fim, após trazer alguns elementos conceituais e práticos, a tabela 10 resume os parâmetros utilizados neste trabalho para as três fontes analisadas.

Tabela 10 Parâmetros: depreciação, vida útil e taxa de retorno do capital fixo (K)

Recurso energético	Vida útil (anos)	Taxa de depreciação (%)	Taxa de retorno do K (%)
Hidroenergia	50	4	9,4
Eólico	25	8	9,4
Solar	25	8	9,4

Fonte: Elaboração própria.

4.4 Resultados

De acordo com resultado das informações descritas nas seções anteriores deste capítulo tem-se que, para os anos 2019 a 2021, foram encontrados valores positivos de RR para os recursos energéticos hídricos.

Os resultados médios estão resumidos na Tabela 11:

Tabela 11 RR: Resultados médios 2019-2021

Em R\$ mil/GWh	Recurso energético		
	Solar*	Eólico	Hídrico
Receita líquida	313,10	212,77	174,94
O&M	34,50	40,04	31,36
Retorno do capital	324,73	121,77	79,37
Depreciação	191,00	101,26	33,82
Renta de recurso	- 237,13	- 50,31	30,40

* não considera a geração distribuída

Fonte: Elaboração própria.

Para as fontes solar e eólica, as RR foram negativas para os três anos analisados embora tenha sido significativamente mais acentuada para a solar. Contribui para isto, o fato de que parte significativa dos investimentos no parque gerador solar ser mais recente (pós 2016), tanto no Brasil quanto em grande parte do mundo⁸⁰, implicando em maiores parcelas relativas de depreciação e retorno.

Os resultados negativos estão em linha com os apresentados pelo CWON 2021, cuja aplicação do método também culminou em valores negativos para esses recursos no Brasil e nos demais países analisados.

No caso de renda negativa, o valor do ativo é considerado nulo (UN *et al.*, 2014). Buscando argumentos pela teoria, valores nulos para esses recursos podem se dar devido a situações de não escassez e de acesso aberto.

Cabe considerar que o valor da RR dependerá consideravelmente da taxa de retorno do capital fixo escolhida. A Tabela 12 apresenta o comportamento da RR unitária média 2019-2021 em função de algumas taxas de retorno do capital fixo selecionadas.

⁸⁰ Ver tabela 6 no capítulo 3.

Tabela 12 Variação da RR média em relação às taxas de retorno do capital fixo

Taxa de retorno do ativo fixo (%)	RR média (Em R\$ mil/GWh)		
	Solar*	Eólico	Hídrico
4,0	- 50,59	19,65	75,99
8,0	- 188,77	32,17	42,22
9,4	- 237,13	50,31	30,40
13,0	- 361,49	96,94	-
14,0	- 396,04	109,90	- 8,45

* Não considera a geração distribuída

Fonte: Elaboração própria.

Como pode ser observado, a RR unitária referente à fonte solar centralizada resultou negativa em todos os casos, mesmo sem ajuste para os descontos existentes no período relativos ao custo do transporte na rede. Em relação à fonte eólica, a RR unitária é positiva quando a taxa de retorno é 4%. A taxa de retorno crítica, ou seja, à qual a RR unitária se anula, foi de 5,5%, aproximadamente. Quanto à RR unitária hidrelétrica, observa-se uma menor sensibilidade à taxa de retorno que a fonte eólica e uma taxa de retorno crítica de 13,0%.

A Figura 6, Figura 7 e Figura 8 apresentam graficamente o comportamento descrito anteriormente para as fontes solar, eólica e hídrica, respectivamente.

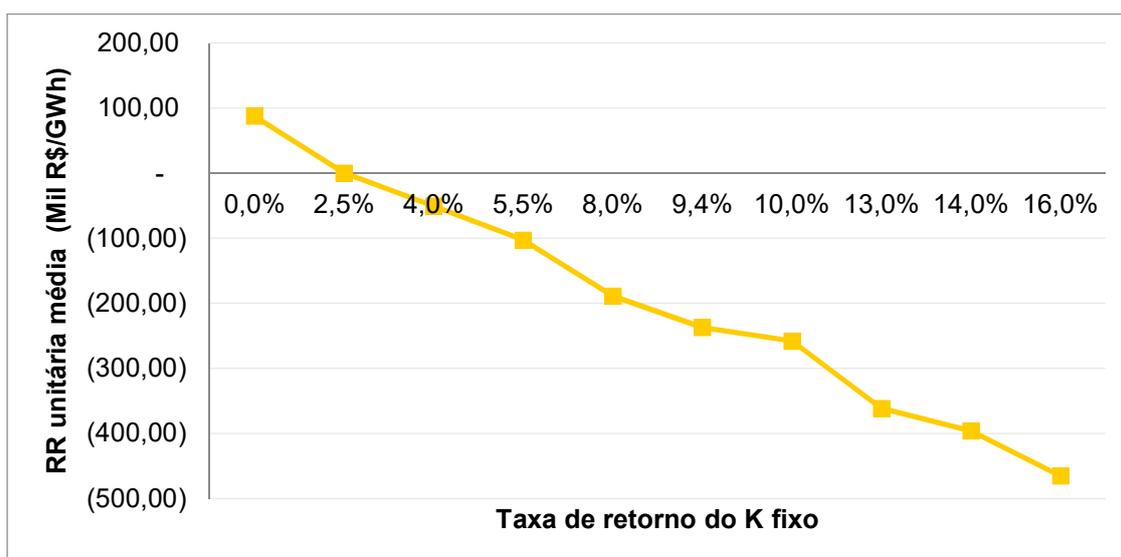


Figura 6 Sensibilidade da RR unitária solar média à taxa de retorno do capital

Fonte: Elaboração própria.



Figura 7 Sensibilidade da RR unitária eólica média à taxa de retorno do capital

Fonte: Elaboração própria.

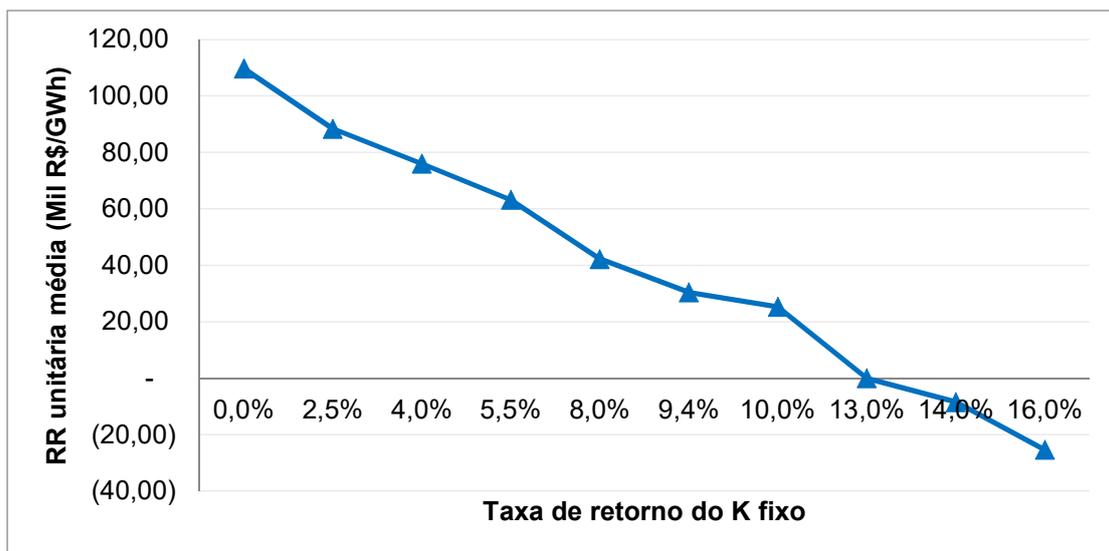


Figura 8 Sensibilidade da RR unitária hidroelétrica média à taxa de retorno do capital

Fonte: Elaboração própria.

O CWON 2021 (WORLD BANK, 2021) aplicou diferentes taxas de retorno do capital produzido segundo grupos de países. Para os países OCDE, 4%; para Brasil, Rússia e Turquia, 8%; e 10% para China e Índia. Quanto maior essa taxa, maior deve ser a receita gerada pelo uso do recurso para justificar o investimento no capital produzido. Tendo em vista o diferencial das taxas, é possível imaginar que países, mesmo possuindo recursos de alta qualidade, continuem apresentando renda negativa.

Como as rentas foram negativas para os recursos solar e eólico, de acordo com os parâmetros escolhidos, somente foi possível estimar o valor do ativo para o recurso energético hídrico. A Tabela 13 apresenta os resultados considerando uma vida útil de 50 anos para a infraestrutura física hidrelétrica, de acordo com diferentes taxas de desconto escolhidas.

Tabela 13 Valor do ativo energético hídrico (média 2019-2021)

Taxa de desconto (%)	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Ativo energético hídrico (Em R\$ milhões)	116.265	143.454	184.829	251.908	368.484
Em percentual médio do PIB (%)	1,5	1,8	2,3	3,1	4,6

Fonte: Elaboração própria.

O exercício experimental do CWON 2021 (WORLD BANK, 2021) utilizou uma taxa de 4% e vida útil infinita⁸¹ para estimar o valor dos ativos energéticos renováveis. Aplicando vida útil infinita e mesma taxa de desconto, o resultado para os ativos energéticos hídricos fica em R\$ 293,59 bilhões na média 2019-2021.

Cabe observar que a taxa de desconto para ativos ambientais pode ser interpretada como uma taxa esperada de retorno sobre os ativos não produzidos (UN *et al*, 2014). Conforme explicitado pelo SEEA, não há um consenso sobre se a taxa de desconto deveria ser ou não a mesma para valorar os diversos tipos de ativos ambientais, embora diversos países que compilem essas contas optem por utilizar taxa única para todos eles. Nesse caso, não seria razoável utilizar uma taxa específica do setor elétrico para tal. O SEEA ainda sugere a possibilidade de que uma variedade de estimativas usando diferentes taxas de desconto seja fornecida nos resultados das avaliações.

Para a projeção dos fluxos futuros de RR, seguindo a premissa sugerida pelo SEEA, manteve-se a RR constante do período atual para toda a extensão do fluxo, embora pudessem ter sido feitos pressupostos sobre expectativas de expansão da geração, sobre preços e custos futuros, etc. Dentre as possibilidades de modelagem, está a inclusão da expectativa de eólicas *offshore*, por exemplo. Tendo em vista a diversidade de possibilidades de cenários, projetar os rendimentos baseados nos valores do ano corrente é apenas uma forma particular de aplicação do método,

⁸¹ Existem outras diferenças metodológicas em relação ao CWON 2021, como, por exemplo, o preço utilizado para calcular a receita, a forma de cálculo dos custos, estoque de capital, não ter levado em conta os tributos e etc.

possivelmente mais conservadora e compatível com a perspectiva contábil típica do SNA (que não é *forward-looking*).

Conforme tratado na seção 1.2 (capítulo 1) a valoração deve considerar a estrutura de mercado e arranjo institucional em vigor na qual as transações ocorrem. Por outro lado, teoricamente, o método de estimativa de renda pelo RVM é calculado seguindo uma estrutura perfeitamente competitiva (ROTHMAN, 2000), utilizando um preço *spot*.

Dessa forma, apenas para fins de comparação, caso se valore a fonte hídrica toda pelo PLD médio dos anos 2019-2021 (como *proxy* do preço *spot*), o valor do ativo energético fica conforme apresentado na Tabela 14.⁸²

Tabela 14 Valor alternativo do ativo energético hídrico (média 2019-2021) - PLD

Taxa de desconto (%)	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
Ativo energético hídrico (Em R\$ milhões) - PLD	257.172	317.314	408.834	557.209	815.072
Em percentual médio do PIB (%)	3,2	4,0	5,1	7,0	10,2

Fonte: Elaboração própria.

Confrontando os dois resultados, verifica-se que o ativo hídrico da tabela 14 - valorado ao PLD médio, apresenta valor significativamente superior (pouco mais que o dobro) que o resultado da tabela 13.

Conforme apontado por Rothman (2000), uma RR aparentemente mais baixa pode ocorrer em situações onde uma parte da renda esteja sendo alocada em outros elos da cadeia produtiva/comercial. Na mesma linha, uma maior exigência de remuneração do capital produzido resultará em uma renda percebida menor. Da mesma forma, em mercados regulados, as rendas percebidas através da aplicação do método podem ser apenas parciais, pois pode ser que haja a escolha do regulador em redistribuir rendas aos consumidores (na forma de preços mais baixos), em vez de somente a aplicação de uma alternativa de taxaço direta da renda.

A RR unitária tem forte associação ao componente preço da energia elétrica. Dependendo do grau de abertura do mercado elétrico, além da expectativa de

⁸² No caso da fonte solar, utilizando o PLD médio, a RR resultou ainda mais negativa em todos os três anos. Já no caso do recurso eólico a RR unitária resultou positiva para o ano de 2021, embora pouco significativa (R\$ 9,4 mil/GWh).

aumento dos preços à medida que haja maior penetração das fontes renováveis, é esperado que haja aumento de volatilidade de preço (HIRSCHHORN *et al.*, 2022). Tais variações podem resultar em alterações significativas no valor da RR, e conseqüentemente, no valor desses ativos. Essa variabilidade no valor do ativo foi observada pela Figura 2 Valor dos ativos energéticos hídricos brasileiros entre 1995 e 2017 (CWON 2021) - valorado ao preço *spot*⁸³.

A variabilidade da RR foi o motivo para que os resultados da RR deste estudo fossem apresentados como uma média dos três anos analisados (2019-2021) como base para as RR futuras. Esse tratamento está entre as possibilidades sugeridas pelo SEEA.

Uma análise mais aprofundada, além de exigir uma série histórica, será possível à medida que outros ativos ambientais energéticos sejam valorados a partir de uma conta de estoques. De qualquer forma, os valores para o ativo energético hídrico foram significativos, representando entre 1,5% a 4,6% do PIB na média do período 2019-2021, evidenciando a importância desse recurso natural para o país.

⁸³ Segundo informações da publicação. No caso do Brasil, o preço utilizado pelo referido estudo, para 2017, ficou muito próximo do PLD máximo daquele ano em vez do PLD ponderado médio anual.

Conclusão

O trabalho de aprimoramento das contas ambientais, da contabilidade 'ampliada' da riqueza e dos métodos de valoração é contínuo. Buscando incorporar demandas e questões mais atuais, está em discussão a inclusão dos recursos energéticos renováveis não depletáveis - compreendendo a energia hidroelétrica, a eólica, a solar e a geotérmica entre outras - no conjunto dos ativos ambientais. A inclusão desses ativos permitirá vínculos com os fluxos de renda associados à medida que os mercados de energia renovável continuam a se desenvolver.

Os recursos energéticos não renováveis, sujeitos à depleção, são considerados em sua dimensão de estoque e fluxo. Por sua vez, segundo a proposta de inclusão dos recursos renováveis não depletáveis como ativo, o entendimento conceitual de que esses recursos são puramente "de fluxo" é modificado. A dimensão "estoque" desses recursos fica, então, limitada a capacidade instalada do parque gerador associado a cada fonte, embora possa haver modificações para considerar o potencial explorável nas condições técnicas e econômicas vigentes.

O objetivo do estudo consistiu em aplicar a sugerida metodologia valor residual/valor presente líquido RVM/VPL para estimar, para o Brasil, a renda de recursos dos energéticos renováveis - solar, eólico e hídrico, considerando a média dos anos 2019 a 2021. O RVM/VPL é amplamente utilizado para a valoração monetária de recursos tais como petróleo e gás natural, minerais e outros.

Para os energéticos renováveis não depletáveis, a eletricidade é o produto resultante mais relevante da "extração" do recurso. Nesse sentido, o valor residual é a diferença entre as receitas anuais obtidas com a venda da eletricidade gerada com o uso dos recursos renováveis, e os custos de operação e manutenção e os custos de capital produzido. Com algumas suposições, a esse valor residual dá-se o nome de renda de recursos (*resource rent*).

Para contextualizar, apresenta-se o conceito de renda de recursos no entendimento das contas ambientais e suas ligações com teoria econômica, buscando, assim, relacioná-las aos recursos energéticos renováveis.

Após descrição dos pressupostos e parâmetros envolvidos, a última etapa consistiu na aplicação da metodologia para estimativa da renda dos recursos

energéticos eólico, solar e hídrico e conseqüentemente o valor dos ativos energéticos renováveis dessas fontes no Brasil.

Foram encontrados valores positivos de RR apenas para os recursos energéticos hídricos para os anos 2019-2021. Solar e eólica apresentaram resultados de RR negativos, porém no caso do recurso eólico a RR unitária tenha tido valor médio mais próximo de zero. Esse resultado negativo da fonte eólica deve ser interpretado com maior cautela, tendo em vista que as parcelas para cálculo da RR são mais sensíveis à variações dos parâmetros que no caso da fonte hídrica. Adicionalmente, tem-se ainda que quando se utiliza apenas o PLD médio para o recurso eólico, a RR unitária chega a apresentar valor levemente positivo em 2021.

Para fins de aplicação do método, quando as RR apresentam resultado negativo o valor do ativo é considerado nulo. Dessa forma, somente foi possível estimar o valor dos ativos energéticos para o recurso hídrico. Como o resultado é consideravelmente afetado pelo parâmetro 'taxa de retorno do capital', foram realizadas análises de sensibilidade para cada um dos três recursos renováveis.

Teoricamente, o método de estimativa de renda é calculado seguindo uma estrutura perfeitamente competitiva, que difere da forma como o método foi aplicado neste estudo. Portanto, os resultados devem ser interpretados atentando-se à estrutura de mercado e possibilidade de redistribuições de rentas ao longo da cadeia. Quando calculada pelo método RVM conforme o SEEA, a RR resultante é somente aquela visível na forma de parte do EOB da atividade econômica produtora.

O exercício de avaliação foi realizado apenas para três anos, tomando-se a média deles de forma a suavizar as variações anuais. Uma questão fundamental é o acompanhamento da variação anual da RR (e conseqüentemente do valor do ativo) suavizada ou não. Para isso é necessário uma série histórica mais longa. Essa questão pode ser considerada uma possibilidade para trabalhos futuros.

Dentre outras limitações, pode-se citar a de somente ter sido considerada a geração solar fotovoltaica centralizada, obtendo-se dessa forma resultados parciais para essa fonte. A geração distribuída tem crescido consideravelmente no país. Outros exercícios podem contribuir para preencher essa lacuna.

Adicionalmente, pode-se dizer que as mudanças em curso no setor elétrico e a transição energética adicionam mais complexidade e incertezas, dificultando exercícios de avaliação para esses recursos. Dependendo do grau de abertura do mercado elétrico, além da expectativa de aumento dos preços à medida que haja

maior penetração das fontes renováveis, é esperado que haja aumento de volatilidade de preço (HIRSCHHORN *et al.*, 2022).

Além disso, outros fatores deverão ser considerados, como possíveis mudanças no papel das hídricas com geração de rentas adicionais por benefícios para além do diferencial de custos; o crescimento da geração descentralizada; a distribuição e realocação de novos custos, atualmente não bem mapeados entre as fontes, pelo sistema. Enfim, todas essas questões sugerem que o desenho institucional e regulatório do mercado elétrico se encontra em profunda transformação.

A proposta desse trabalho trouxe breve histórico do desenvolvimento das contas ambientais e das metodologias envolvidas de valoração, com foco no método recomendado feito através exercício prático de valoração. Dessa forma, cabendo ressaltar o caráter experimental do método RVM/VPL para os recursos energéticos renováveis, buscou-se agregar elementos teóricos e práticos para ampliar a discussão no desenvolvimento de metodologias e estimativas mais refinadas para o país.

O trabalho sobre a contabilidade da riqueza reforça a importância de considerar medidas de estoques em termos físicos e monetários para complementar o acompanhamento das medidas de fluxo produtivo, de renda e consumo. A ideia é que se tenham mais informações para avaliação e planejamento econômico.

As informações do estoque de capital fixo nacional, sua composição e variação no tempo são historicamente tidas como importantes para estudos de crescimento econômico de longo prazo, produtividade, planejamento e etc. A inclusão dos recursos naturais nas contas de ativos pode trazer uma visão diferenciada, contribuindo para a análise da sustentabilidade e desenvolvimento econômico dos países.

A construção de uma conta de estoques para outros ativos energéticos permitirá melhores parâmetros para comparação com os valores obtidos nesse estudo, permitindo melhor crítica e aprimoramento do método.

Referências bibliográficas:

- ABEEOLICA, Associação Brasileira de Energia Eólica. **Boletim Anual de Geração Eólica 2021**. São Paulo: ABEEOLICA. 2022.
- ABS, Australian Bureau of Statistics. **Australian Environmental-Economic Accounts**. 2014. Disponível em: <http://www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/DetailsPage/4655.02014?OpenDocument>
- ABRACEEL, Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia. **Boletim Mensal 2021**. 2021. Disponível em: <https://abraceel.com.br/topico/biblioteca/boletim/>
- ALFSEN, K. H., Bye, T., LORENTSEN, L. **Natural Resource Accounting Analysis, The Norwegian Experience**, Central Bureau of Statistics of Norway, Oslo. 1987.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Informações Contábeis e Financeiras da ANEEL. **Relatório de Arrecadação dos Créditos Geridos 2021**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/informacoes-contabeis-financeiras>
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatórios Receita Anual Permitida de Transmissão Ciclo Tarifário 2020-2021 e 2021-2022**.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Nota Técnica nº 218/2021-SGT/ANEEL. Processo: 48500.000490/2021-72. **Reconsideração da TUST e tarifa de Itaipu ciclo 2021-2022**. 13 set. 2021.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Nota Técnica nº 015/2022-SGT-SRM/ANEEL. Processo: 48500.000953/2021-04. **Atualização da Taxa Regulatória de Remuneração do Capital**. Brasília, DF: ANEEL, 18 fev. 2022.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Proret: Módulo 6: Demais Procedimentos. Submódulo 6.6: **Preço Médio da Energia Hidráulica e Tarifa Atualizada de Referência – TAR**. Versão 2.1 C. 30 jan. 2022. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren20221003_Proret_Submod_6_6_V2_1C.pdf. Acesso em: 12 fev. 2024.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução homologatória Nº 2.827, de 15 de dezembro de 2020**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20212981ti.pdf>
- ARROW, K. J., DASGUPTA, P., GOULDER, L. H. *et al.* "Sustainability and the measurement of wealth", **Environment and Development Economics**, v. 17, n. 3, p. 317–353, 2012. DOI: 10.1017/S1355770X12000137. 2012.
- BARBIER, E. "The concept of natural capital", **Oxford Review of Economic Policy**, v. 35, n. 1, p. 14–36. 2019.
- BARBIER, E. "The Evolution of Economic Views on Natural Resource Scarcity." **Review of Environmental Economics and Policy** 15(1), Winter, in press. 2021.
- BARON, R., FISCHER D. Divestment and Stranded Assets in the Low-Carbon Transition, OECD Background Paper for the 32nd Round Table on Sustainable Development. 2015.

- BORKENHAGEN, S. Taxation of wind power in Norway: an analysis of possible effects of taxation on resource rent and environmental damages from Norwegian wind power plants. Dissertação de mestrado. School of Economics and Business. **Norwegian University of Life Sciences**. 2021.
- BRASIL. Notícias Meio Ambiente e clima. **Eólica Offshore é a aposta do Brasil para consolidar a transição energética**. Brasília, novembro de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/meio-ambiente-e-clima/2022/11/eolica-offshore-e-a-aposta-do-brasil-para-consolidar-a-transicao-energetica> Acesso em: 16 fev. 2024.
- BRASIL. **Lei Complementar nº 158, de 23 de fevereiro de 2017**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 fev. 2017.
- BRASIL. Ministério da Economia. **Boletim Informativo de Debêntures Incentivadas**. 97ª Edição. 2022.
- BRASIL. Tesouro Nacional. **Histórico de Preços e taxas**. Disponível em: <https://www.tesourodireto.com.br/titulos/historico-de-precos-e-taxas.htm> Acesso em: 06 dez. 2022.
- BUSLIK, S. A. **Energia elétrica-setor emergencial**. In IPEA, Instituto de Pesquisa Económica Aplicada. Texto para discussão, n. 341. 1994.
- CBS, Statistics Netherlands. **Environmental accounts of the Netherlands 2010**. 2011.
- CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Obrigações Fiscais na Comercialização de Energia - Consumidores Livres e Especiais – Cartilha**. Versão 04 - São Paulo/SP. 34 p. 2021a. Disponível em: https://www.ccee.org.br/o/ccee/documentos/download/CCEE_661168
- CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Regras de Comercialização: Garantia Física**. Versão 2021. 2.0. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, Brasil. 2021b. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/>. Acesso em: 30 jan. 2023.
- CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Resultado consolidado dos Leilões de Energia Elétrica**. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/>. Acesso em: 30 jan. 2023.
- CHOWDHURY, M. S., RAHMAN, K. S., CHOWDHURY, T. *et al.* "An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling", **Energy Strategy Reviews**, v. 27, p. 100431. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100431>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X19301245>.
- DASGUPTA, P. **The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review**. London: HM Treasury. 2021.
- EAWE, European Academy of Wind Energy. Wind turbine drivetrains: state-of-the-art technologies and future development trends. Preprint. Discussion started: 24 June 2021. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/wes-2021-63>
- EL SERAFY, S. "The Proper Calculation of Income from Depletable Natural Resource" In Yusuf J. Ahmad, Salah El Serafy, e Ernst Lutz, eds, **Environmental Accounting for Sustainable Development**. Washington, D.C.: UNEP/ World Bank. 1989.

- EL SERAFY, S. "The Environment as Capital", In R. Costanza (ed.), *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*, 168-175, **Columbia University Press**, New York. 1991.
- ELETRONBRAS, Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Demonstrações Financeiras Padronizadas**. 31 dez. 2021. Versão: 1. 2022.
- ENBPAR. Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional. **Plano Anual do PROINFA - PAP 2021**. Rio de Janeiro: ENBPAR, 2020. 124 p. Disponível em: <https://proinfa.enbpar.gov.br/wp-content/uploads/2023/06/PAP-2021.pdf>.
- ERREYGERS, G. "Hotelling, Rawls, Solow: How Exhaustible Resources Came to Be Integrated into the Neoclassical Growth Model", **History of Political Economy**. v. 41, n. Suppl_1, p. 263–281, 1 dez. 2009. DOI: 10.1215/00182702-2009-027. Disponível em: <https://doi.org/10.1215/00182702-2009-027>.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia de Longo Prazo (Horizonte 2030)** – Geração Hidrelétrica – Avaliação dos impactos socioambientais. Rio de Janeiro. 2006.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**, M. T. Tolmasquim. (coord.), Ed. EPE. Rio de Janeiro. 2016a.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE. 2016b.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. "**Informe Técnico - Leilões de Geração de Energia Elétrica**. EPE-DEE-IT-104/2019-r0". Rio de Janeiro, 2019a.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. "**Repotenciação e Modernização de Usinas Hidrelétricas: Ganhos de eficiência, energia e capacidade instalada**. EPE-DEE-088/2019-r0", Rio de Janeiro. 2019b.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Expansão da produção**. "Solar Fotovoltaica Flutuante: Aspectos Tecnológicos e Ambientais relevantes ao Planejamento. EPE-DEE-NT-016/2020-r0", Rio de Janeiro. 2020a.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2050**. Versão para Consulta Pública, Rio de Janeiro. 2020b.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. "**Projetos eólicos nos leilões de energia: evolução dos projetos cadastrados e suas características técnicas**. EPE-DEE-017/2020-r0", Rio de Janeiro. 2020c.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Expansão da geração**. "Empreendimentos eólicos ao fim da vida útil: Situação atual e alternativas futuras. EPE-DEE-NT-012/2021-r0", Rio de Janeiro. 2021.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. "**Séries históricas de investimento: Energia Elétrica – Referências, Premissas e Metodologias**. EPE-PR-NT-005/2022", Rio de Janeiro. 2022a.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE. 2022b.

- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional - Séries Históricas e Matrizes**. Anexo I - Capacidade instalada. Rio de Janeiro. 2022c. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-145/topico-515/Anexo%20-%20-%20Capacidade%20instalada.xlsx>
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023 ano base 2022**. Workbook. Rio de Janeiro. 2023a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Caderno de Tecnologias de Geração**. “Evolução dos projetos cadastrados Leilões de Energia e suas características técnicas. EPE-DEE-026/2023-r0”, Rio de Janeiro. 2023b.
- EUROPEAN COMMISSION. Directorate-General for Economic and Financial Affairs. **Energy Economic Developments: Investment Perspectives in Electricity Markets**. Institutional Paper 003. Brussels: European Commission. ISSN 2443-8014 (online). 2015. Disponível em: http://ec.europa.eu/economy_finance/publications/
- FRISCHTAK, C. R., MOURÃO, J. **Uma Estimativa do Estoque de Capital de Infraestrutura no Brasil**. In: **Desafios Da Nação**. IPEA. 2017. Disponível em: https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/180413_desafios_da_nacao_artigos_vol1_cap02.pdf
- HALLAK NETO, J.; FORTE, C. M. O Sistema de Contas Nacionais: evolução histórica e implantação no Brasil. **Revista Econômica**. Volume 18, número 1. p290. DOI: <https://doi.org/10.22409/reuff.v18i1.34998>. 2017.
- HIRSCHHORN, P. *et al.* **What CEOs Can Learn from Energy Traders. Artigo Climate Change and sustainability**. BCG. 2022. Disponível em: <https://www.bcg.com/publications/2022/how-the-electricity-price-volatility-can-create-competitive-advantage>. Acesso em: 15 out. 2023.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contas Nacionais**. Tabelas 2021 Sistema de contas nacionais: Brasil. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9052-sistema-de-contas-nacionais-brasil.html> Acesso em: 15 out. 2023.
- IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Investimento e reformas no Brasil. Indústria e infra-estrutura nos anos 1990**. BIELSCHOWSKY, R. (coord.). 2002.
- IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **IPEA Data**. Séries históricas índices FBCF. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em: 20 de jul. 2023.
- IRENA, International Renewable Energy Agency. **Stranded assets and renewables: how the energy transition affects the value of energy reserves, buildings and capital stock**. Abu Dhabi. 2017. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Jul/IRENA_REmap_Stranded_assets_and_renewables_2017.pdf
- IRENA, International Renewable Energy Agency. **Renewable Energy Statistics 2021**. Abu Dhabi. 2021. Disponível em <https://irena.org/publications/2021/Jul/Renewableenergy-statistics-2021>.
- IRENA, International Renewable Energy Agency. **Renewable Power Generation**

- Costs in 2021.** Abu Dhabi. 2022. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/May/IRENA_Renewable-PowerGenerations-Costs-in-2021.pdf
- IRENA, International Renewable Energy Agency. **Renewable Energy Statistics. Renewable Capacity Statistics 2023**, Abu Dhabi. 2023.
- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (IISD). **Comprehensive wealth in Canada 2018** – Measuring what matters in the long term. Winnipeg. 74 p. 2018. Disponível em: <https://www.iisd.org/system/files/publications/comprehensive-wealth-canada-2018.pdf>
- ITAIPU BINACIONAL. Caderno de Indicadores Itaipu Binacional Margem Brasileira. Foz do Iguaçu, PR: Itaipu Binacional, 85 p. 2021. Disponível em: https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/af_df/CI_ITAIPU_2021_DIGITAL.pdf
- LANDEFELD, J. S., HINES, J. R. "National Accounting for non Renewable Resources in the Mining Industries", **The Review of Income and wealth**. 1985.
- LANGE, G., MOTINGA D. J. **The Contribution of Resource Rents from Minerals and Fisheries to Sustainable Economic Development in Namibia**. Directorate of Environmental affairs (DEA), Ministry of Environment and Tourism, Research Discussion Paper nº 19. Namibia. 1997.
- LONGVA, P. A system of natural resource accounts. **Rapporter fra Statistik**. Central Bureau of Statistics of Norway, Oslo. 1981.
- MAES, J., TELLER, A., ERHARD, M. *et al.* **"Mapping and assessment of ecosystems and their services: An analytical framework for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020"**. 2013.
- MARTINS, E. "Avaliação de empresas: da mensuração contábil à econômica", **Caderno de Estudos**, v. 0, n. 24 SE-, p. 28–37. 2000. DOI: 10.1590/S1413-92512000000200002. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/cest/article/view/5659>
- MISUND, B., TVETERÅS, R. "Economic rents in Norwegian aquaculture", v. 39/2020. v. 39/2020. NORCE, **Norwegian Research Centre**. Report No. 39-2020. ISBN 978-82-8408-131-1. No. of pages 108. 2023.
- MME, Ministério de Minas e Energia. **Informativo Gestão Setor Elétrico 2021**. Ano 13, nº 47,. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, Brasil. 2021. Acesso em: 30 nov. 2023.
- NOGUEIRA, M. F. M. & ALARCÓN, A. D. **Impacto das interrupções na geração hidrelétrica do Brasil**. (IDB-TN-01595). IADB. Banco Interamericano de desenvolvimento (BID). 2019.
- OCDE, Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Measuring Capital. OECD Manual**, Second Edition. 2009. Disponível em : http://www.oecd-ilibrary.org/economics/measuring-capital-oecd-manual-2009_9789264068476-en
- OLIVEIRA, G. *et al.* **Impactos socioeconômicos e ambientais da geração de energia eólica no Brasil**. São Paulo: GO Associados, p. 84, 2020 em ABEEOLICA. 2022.
- ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Capacidade Instalada de Geração**.

- Brasil.** 2021. Disponível em: http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-daoperacao/historico-da-operacao/capacidade_instalada.aspx. Acesso em: 30 de abril de 2022.
- ONS UK, Office for UK National Statistics. **UK natural capital accounts: 2020.** UK Government. 2020. Disponível em: <https://www.ons.gov.uk/economy/environmentalaccounts/bulletins/uknaturalcapitalaccounts/2020> Acesso em: 30 abr. 2022.
- PERMAN, R., MA, Y., COMMON, M., & MCGILVRAY, J. **Natural Resource and Environmental Economics.** 3 ed. Harlow: Pearson. 2003.
- PEZZEY, J., “**Sustainable development concepts: an economic analysis**”. World Bank Environment paper number 2. Report No.:11425. The World Bank, Washington D.C. 1992.
- PINTO JUNIOR, H. Q.; ALMEIDA, E. F. de; BOMTEMPO, J. V.; IOOTTY, M.; BICALHO, R. G. **Economia da Energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial.** Rio de Janeiro: Elsevier. 2016.
- REPETTO, R., MAGRATH, W., WELLS, M., BEER, C. E ROSSINI, F. **Wasting Assets: Natural Resources in the National Income Accounts.** World Resources Institute. 1989.
- ROTHMAN M. “**Measuring and apportioning rents from hydroelectric power developments**”, World Bank Discussion Paper 419. The World Bank, Washington, D.C. 2000.
- SETO K.C, DAVIS, S.J., MITCHELLI R.B., STOKES E.C, UNRUH, G, ÜRGE-VORSATZ, D. Carbon lock-in: types, causes, and policy implications. **Annual Review of Environment and Resource.** 41:425–452. 2016. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085934>
- SOLOW, R. M. "The Economics of Resources or the Resources of Economics", **The American Economic Review**, v. 64, n. 2, p. 1–14. 1974. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/1816009>
- SOUZA JÚNIOR, J. R. de C.; CORNELIO, F. M. **Estoque de capital fixo no Brasil: séries desagregadas anuais, trimestrais e mensais.** Texto para Discussão, n. 2580. IPEA. Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/200908_td_2580.pdf
- STATCAN, Statistics Canada. **Canada Asset Accounts.** Disponível em: <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/16-509-x/2016001/8-eng.htm>. Acesso em 03 de maio de 2023.
- STIGLITZ, J. E., SEN, A., FITOUSSI, J.P. **Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress.** Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress. 2009. Disponível em : <https://www.insee.fr/en/information/2662494>
- STIGLITZ, J. E.; WALSH, C. E. **Economics.** 4º ed. New York/London: W. W. Norton & Company, 2005.
- SOUZA JÚNIOR, J., CORNELIO, F. **Estoque de Capital Fixo no Brasil: séries desagregadas anuais, trimestrais e mensais.** Texto para discussão 2580. IPEA, Brasília: Rio de Janeiro. 2020.

- SUENAGA, K. "The Confusion of the Concepts of Rent and Economics", **The review of economics and political science**, v. 85, p. 41–53, 1 dez. 2016.
- TAYLOR, M. **Evolution in the global energy transformation to 2050**, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi. 2020.
- THEYS, J. "**Environmental Accounting in Development Policy: The French Experience.**" In Yusuf J. Ahmad, Salah El Serafy, e Ernst Lutz, eds, *Environmental Accounting for Sustainable Development*. Washington, D.C.: UNEP/ World Bank. 1989.
- UN, United Nations. **Our common future: report of the World Commission on Environment and Development**. *International Affairs*, 64(1), 126. 1987.
- UN, United Nations. **Integrated Environmental and Economic Accounting: An Operational Manual**. *Handbook of National Accounting, Studies in Methods*, No. 78. Sales No. E.00.XVII.17. 2000.
- UN *et al.*, United Nations, European Commission, International Monetary Fund, Organisation for Economic Cooperation and Development, World Bank. **Integrated Environmental and Economic Accounting 2003**. *Handbook of National Accounting*. New York, Luxembourg, Washington D.C., Paris. 2007.
- UN *et al.*, United Nations, European Commission, International Monetary Fund, Organisation for Economic Cooperation and Development, World Bank. **System of National Accounts 2008**, New York, United States. 2009.
- UN *et al.*, United Nations; European Commission; Food and Agriculture Organization of the United Nations; International Monetary Fund; Organisation for Economic Cooperation and Development; The World Bank. **System of Environmental-Economic Accounting 2012 : Central Framework**. New York. 2014.
- UN *et al.*, **System of Environmental-Economic Accounting for Energy**. New York, United States. 2019.
- UN *et al.*, **System of Environmental-Economic Accounting — Ecosystem Accounting (SEEA EA)**. 2021.
- UN, United Nations. **Our Common Agenda**. Disponível em: <https://www.un.org/en/common-agenda>. Acesso em 15 out. 2023.
- UNECE, United Nations Economic Commission for Europe. **United Nations Framework Classification for Reserves (UNFC)**. Specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 to Renewable Energy Resources, Geneva. 2016.
- UNEP, United Nations Environment Program. **UNEP: 50 years of Environmental Milestones**. Disponível em <https://www.unep.org/environmental-moments-unesp50-timeline>.
- UNEP, United Nations Environment Program. **The Inclusive Wealth Report 2018**. Nairobi, Kenya. 2018. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/inclusive-wealth-report-2018>
- UNU; IHDP; UNEP – United Nations University, International Human Dimensions Programme & United Nations Environment Program. **Inclusive Wealth Report 2012 – Measuring progress toward sustainability**. Cambridge University Press.

2012. Disponível em <https://wedocs.unep.org/>
- UNU; IHDP; UNEP – United Nations University, International Human Dimensions Programme & United Nations Environment Program. **Inclusive Wealth Report 2014 – Measuring progress toward sustainability**. Cambridge University Press. 2014.
- VEIGA, J. E. **Sustentabilidade: a legitimação de um novo valor**. 3º Edição. São Paulo: Editora SENAC, São Paulo. 2019.
- VELDHUIZEN, E., GRAVELAND, C., BERGEN, D. e SCHENAU, S. **Valuation of oil and gas reserves in the Netherlands 1990–2005**, Statistics Netherlands (CBS), The Hague/ Heerlen. 2009.
- WADE, A., HEATH, G., WECKEND, S. *et al.* In IRENA e IEA PVPS. **End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels**. 2016.
- WCED, World Commission on Economy and Development. **Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development**. New York, 1987. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/139811>
- WISER, R. H., BOLINGER, M. Benchmarking Anticipated Wind Project Lifetimes: Results from a Survey of U.S. Wind Industry Professionals. 2019.
- WORLD BANK. **Where Is the Wealth of Nations? Measuring Capital for the 21st Century**. Washington, DC: World Bank. 2006.
- WORLD BANK. **The Changing Wealth of Nations: Measuring Sustainable Development in the New Millennium. Environment and Development**. Washington, DC: The World Bank, 2011.
- WORLD BANK. **The Changing Wealth of Nations 2018: Building a Sustainable Future**. Washington, DC: World Bank. 2018.
- WORLD BANK. **The Changing Wealth of Nations 2021: Managing Assets for the Future**. Washington, DC: World Bank. 2021.
- YOUNG, C. E. F., SEROA DA MOTTA, R., "Measuring sustainable income from mineral extraction in Brazil", **Resources Policy**, v. 21, n. 2, p. 113–125. 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0301-4207\(95\)00048-U](https://doi.org/10.1016/0301-4207(95)00048-U). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030142079500048U>.