

INSTITUIÇÕES, POLÍTICAS INDUSTRIAIS E DE INOVAÇÃO: UM MAPEAMENTO A PARTIR DO SETOR EÓLICO NA AMÉRICA DO SUL

Lindomayara França Ferreira
Universidade Federal de Juiz de Fora
Programa de Pós-graduação em Economia
lindomayara@hotmail.com

Eduardo Gonçalves
Universidade Federal de Juiz de Fora
Programa de Pós-graduação em Economia
eduardo.goncalves@ufjf.br

Resumo: Este trabalho propõe apresentar reflexões sobre as potencialidades e os desafios para o desenvolvimento do setor eólico na América do Sul, à luz do papel das instituições e das políticas industriais e de inovação. Os resultados apontam uma expansão da capacidade eólica, concomitantemente, a criação de órgãos, marcos regulatórios e um *portfólio* de instrumentos. O Uruguai sinaliza alta especialização no setor, seguido pelo Brasil, Argentina e Chile. Com uma “janela de oportunidade” na descarbonização do setor energético, esses países podem ser protagonistas nesse mercado, porém há desafios que precisam ser superados, especialmente, na redução do *gap* tecnológico com os *players* do mercado (China, Índia, Estados Unidos e Alemanha).

Palavras-chave: Instituições; Política industrial; Inovação; Setor eólico; América do Sul.

Código JEL: O38; O13; Q58; O54.

Área Temática: Economia.

INSTITUIÇÕES, POLÍTICAS INDUSTRIAIS E DE INOVAÇÃO: UM MAPEAMENTO A PARTIR DO SETOR EÓLICO NA AMÉRICA DO SUL

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a preocupação com a segurança energética e as mudanças climáticas antropogênicas (variações de temperaturas, secas, inundações, elevação dos mares e outras catástrofes) tem destacado as fontes renováveis de energias como tecnologias-chave para um novo paradigma verde ([KERN et al., 2014](#); [IRENA, 2021a](#); [REN21, 2023](#)).

A fim de eliminar gradualmente o uso de combustíveis fósseis e limitar o aquecimento global a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, os esforços em energia renovável (ER) têm sido cada vez mais viabilizados por diversos países, por meio de incentivos diretos (crédito, tarifas, subsídios, financiamento e outros) e indiretos (normas, leis, regulamentos e outros) ([MAZZUCATO, 2014](#); [REN21, 2023](#)). No entanto, a combinação de políticas indutoras da transformação do sistema e a forma como a “política industrial verde” será conduzida está relacionada aos estágios de desenvolvimento dos países ([UN, 2023](#)).

O cenário tecnológico em rápida transformação tem oferecido uma “janela verde de oportunidade”, especialmente para promover o *catch-up* dos países com disponibilidade de recursos naturais ([UN, 2023](#)). Identificado como um mercado em expansão, o desenvolvimento da indústria eólica nas duas últimas décadas (2000-2020) tem ganhado fôlego especialmente pela abrupta redução nos custos da tecnologia, pelo baixo nível de emissões de CO₂, e pela capacidade de geração de emprego nas fases de instalação, operação e manutenção. Isto é, tanto a tecnologia em terra firme (*onshore*) quanto em alto mar (*offshore*) têm apresentado competitividade econômica, social e ambiental.

Abordagens anteriores apontam evidências para um efeito positivo na indústria doméstica dos países que viabilizaram o setor eólico em maior escala ([FORNAHL, 2012](#); [ZHANG et al., 2013](#); [PEGELS; LÜTKENHORST, 2014](#); [NAHM, 2017](#)). A literatura tem enfatizado: i) a percepção das empresas sobre os principais programas de apoio a indústria eólica ([PODCAMENI, 2014](#)); ii) o efeito do financiamento para o desenvolvimento tecnológico do setor ([FABRIS, 2020](#)); e iii) a política industrial brasileira em comparação com as experiências dos Estados Unidos e da China ([ARAÚJO; WILLCOX, 2018](#)) e entre o setor eólico e solar, no Brasil e na China ([HOCHSTETLER; KOSTKA, 2015](#)).

Caracterizado como um mercado promissor para a mitigação dos desafios contemporâneos na redução das emissões de CO₂ e no nível de desemprego, este trabalho propõe apresentar reflexões sobre as potencialidades e os desafios para o desenvolvimento do setor eólico na América do Sul, à luz do papel das instituições e das políticas industriais e de inovação. Em específico, comparar as experiências dos principais *players* do mercado e os países da América do Sul (Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Paraguai, Peru, Uruguai, Venezuela) a partir de indicadores de especialização, bem como, seus principais instrumentos e incentivos para o desenvolvimento do mercado.

Este ensaio está estruturado em quatro seções, incluindo esta introdução e as considerações finais. O arcabouço teórico do papel das instituições e dos principais fundamentos da política industrial e de inovação, bem como a evolução recente dessas políticas no âmbito da inovação verde, serão debatidos na segunda seção. A terceira seção discute, respectivamente: i) o mercado eólico e uma visão geral dos principais *players*; ii) os principais *players* e os países da América do Sul, no âmbito das instituições, das políticas e dos instrumentos de incentivos destinados para o desenvolvimento do setor eólico e, iii) as especificidades e potencialidades do setor eólico no contexto dos países da América do Sul.

2. ARCABOUÇO TEÓRICO SOBRE INSTITUIÇÕES, POLÍTICA INDUSTRIAL E DE INOVAÇÃO

A abordagem convencional da política industrial apresenta elementos direcionados para falhas ou imperfeições do mercado, tais como externalidades, incertezas, assimetria de informação e até mesmo a administração de bens públicos (RODRIK, 2004; CIMOLI et al., 2007). A política industrial por décadas (1980-2000) se caracterizou por políticas horizontais, isto é, políticas não seletivas no âmbito de setores ou atividades (SUZIGAN; FURTADO, 2006).

Com a visão schumpeteriana e evolucionária (ver SCHUMPETER, 1997; NELSON; WINTER, 1982), o debate da inovação como o motor da reestruturação e do crescimento da produtividade passou a ser elemento fundamental para a criação da política industrial (RODRIK, 2004). Para Aiginger e Rodrik (2020), a dinâmica tecnológica é criada através do conhecimento, das competências, da inovação, das finanças e das instituições, que são considerados complementos e não substitutos.

Nesse enfoque “moderno”, a política industrial exibe uma área de abrangência ampla, com esforços direcionados para atividades industriais indutoras de mudanças tecnológicas, do desenvolvimento da inovação e de novos mercados (SUZIGAN; FURTADO, 2006; SCHOT; STEINMUELLER, 2018). Para Rodrik (2004), a intervenção política apropriada centra-se em atividades ou tecnologias que produzam características de uma falha de coordenação, desenvolvendo uma colaboração estratégica entre o setor público e privado. Em essência, a política industrial “moderna” deve mitigar não só as falhas de mercado, mas também orientar a mudança tecnológica para os desafios contemporâneos em busca do bem-estar social, isto é, com objetivos sociais que envolvam o clima, a saúde, a criação de empregos e a redução da pobreza e da desigualdade (AIGINGER; RODRIK, 2020).

No entanto, assim como qualquer outra política, a política industrial apresenta diversas limitações no seu desenvolvimento. Naturalmente, algumas estratégias irão falhar e nem toda promoção de esforços serão bem-sucedidos na busca de descobrir o potencial produtivo de um país, ainda assim, o objetivo não consiste em minimizar as chances de ocorrência de erros do processo de descoberta, mas reduzir os custos dos erros quando ocorrem (RODRIK, 2004). Por isso, no escopo da política industrial se destacam os papéis da orientação de objetivos e metas, da coordenação das ações e da articulação com o setor privado (SUZIGAN; FURTADO, 2010). Os erros são uma parte inevitável e necessária de um programa bem-sucedido, pois não se trata de “escolher vencedores”, mas como o custo dos fracassos podem ser superados (RODRIK, 2004; 2014).

No que se refere à implementação e coordenação da política industrial, a organização institucional exerce um papel relevante (SUZIGAN; FURTADO, 2006). Cabe ressaltar que a coordenação, em linhas gerais, consiste na tarefa de combinar comportamentos descentralizados, administrando também as regras de interação entre os agentes e moldando as crenças e normas destes (CIMOLI et al., 2007). E, nesse contexto, a incapacidade de induzir mudanças persistentes no agente inovador tem sido identificada como uma das principais razões para o insucesso das políticas na América Latina (SUZIGAN et al., 2020).

Há um extenso debate de diferentes visões sobre o papel das instituições (NORTH, 1991; ACEMOGLU et al., 2005; CIMOLI et al., 2007; CHANG, 2008). A organização institucional, como as instituições públicas coordenadoras e executoras ou entidades representativas das empresas e de outros grupos de interesse envolvidos, são apontadas como essenciais para a implementação da política industrial (SUZIGAN; FURTADO, 2006).

Se por um lado, o desenvolvimento econômico muda as instituições, por outro lado, as instituições podem promover o desenvolvimento das capacidades produtivas e, conseqüentemente, promover o desenvolvimento econômico. Nesse contexto, o

desenvolvimento econômico pode provocar mudanças culturais/institucionais, tanto quanto estas mudanças podem provocar o desenvolvimento ([CHANG, 2011](#)). Assim, a prática da política industrial pode ser aprimorada a partir da concepção de quadros institucionais que minimizem os riscos informativos e políticos ([RODRIK, 2014](#)). Além disso, instituições bem concebidas podem ajudar os governos a identificarem as fontes dos problemas e das falhas no desenho da política industrial ([AINGINGER; RODRIK, 2020](#)).

Executada de forma consciente e concebida tendo em mente as armadilhas do escopo estabelecido ([RODRIK, 2014](#)), a política industrial não pode ser desenvolvida como uma política isolada ([AINGINGER; RODRIK, 2020](#)). Deve, mesmo que parcialmente, maximizar as sinergias com outras políticas a fim de evitar conflitos nas multiplicidades de objetivos e na inconsistência de instrumentos políticos, como no caso das articulações com políticas macroeconômicas e regionais ([SUZIGAN; FURTADO, 2006](#); [CIMOLI et al., 2017](#)). A política industrial está no cerne da política econômica e social e, portanto, nenhum país pode promover o *catch up* sem mudanças estruturais e modernização da indústria transformadora. Não obstante, a política industrial deve conter elementos setoriais, definindo as atividades importantes e de potencial para o futuro, do mesmo modo, promover atividades horizontais que moldam as condições empresariais, isto é, ser uma política orientada para o longo prazo ([AINGINGER; RODRIK, 2020](#)).

A política industrial é entendida como um instrumento direcionado para identificar áreas onde as ações políticas farão à diferença, visando atividades e não setores ([RODRIK, 2004](#)). Isto é, políticas transversais capazes de afetar o sistema de regras que molda o comportamento do agente inovador ([SUZIGAN et al., 2020](#)). Embora combinada de formas distintas e dependentes das especificidades de cada país ou setor ([CIMOLI et al., 2017](#)), a política industrial em economias industrializadas deve seguir uma estratégia que permita mudanças estruturais na indústria de transformação, enquanto em economias periféricas deve centrar-se na erradicação da pobreza e na transição de países de baixo para médio rendimento ([GRILLITSCH; ASHEIM, 2018](#); [AINGINGER; RODRIK, 2020](#)).

Um aspecto importante no arcabouço da política industrial “moderna” consiste na inserção de serviços produtivos, isto é, um desenho de política que responda à necessidade de nutrir e desenvolver atividades econômicas modernas de forma mais ampla, para além da indústria de transformação. E, portanto, o surgimento de outras terminologias como “políticas de desenvolvimento produtivo”, “políticas de transformação estrutural” ou “políticas de inovação” ([AINGINGER; RODRIK, 2020](#)).

O sucesso da política industrial “moderna” como estratégia de desenvolvimento destaca a presença de uma infraestrutura adequada de ciência e tecnologia e de força de trabalho qualificado, pois não há indústria intensiva em conhecimento que se desenvolva com a ausência de um sistema de ensino/pesquisa e de capacitações específicas ([SUZIGAN; FURTADO, 2006](#); [DELGADO, 2015](#)). E nesse contexto, além das políticas públicas, as organizações públicas (universidades e instituições de pesquisas, por exemplo) apresentam centralidade na formulação e implementação de novos paradigmas tecnológicos ([CIMOLI et al., 2017](#)). Assim, uma preocupação fundamental consiste em estabelecer competências, capacidades e estruturas que possam ampliar a eficácia de uma organização pública, tanto no processo de aprendizagem como também no processo de simbiose com o setor privado ([MAZZUCATO et al., 2020](#)).

As políticas de inovação se caracterizam como uma fusão de ciência, tecnologia e política industrial ([AINGINGER; RODRIK, 2020](#)). Cada vez mais, tem-se usado a política industrial e de inovação para enfrentar os grandes desafios contemporâneos (econômicos, sociais e ambiental) ([MAZZUCATO et al., 2020](#)). A política de inovação deve apresentar não-neutralidade, fazendo escolhas compatíveis com suas competências tecnológicas estabelecidas, reconhecendo o papel da complementariedade, coordenação e conexão entre inovação e difusão, em contraste com a política de setor neutro (horizontal) ([FORAY, 2018](#)). Para

[Mazzucato et al. \(2020\)](#), o Estado a partir da política de inovação deve tratar os investimentos como um *portfólio*, permitindo que parte das recompensas (lado positivo) cubram os riscos (lado negativo) possibilitando, portanto, o “refinanciamento” para inovações futuras a partir desses resultados.

As novas políticas de inovação industrial, como a especialização inteligente, têm como objetivo criar massa crítica e competitividade em temáticas emergentes, visando estimular a mudança estrutural no aspecto tecnológico, social e ambiental através da diversificação para atividades de maior valor agregado, isto é, atividades de maior complexidade ([GRILLITSCH, 2015](#); [GRILLITSCH; ASHEIN, 2018](#); [FORAY, 2018](#)). Com uma contribuição fundamental para o desenho da política de inovação, a especialização inteligente propõe o desenvolvimento de atividades específicas, que apresentam em sua essência a diversificação e a identificação de futuras capacidades domésticas ([SERRA et al., 2021](#)).

Esse tipo de abordagem posiciona as regiões e o contexto local como fator relevante para o arcabouço da política industrial, na medida em que são identificadas as suas capacidades domésticas. Cabe destacar que a seleção de prioridades no desenvolvimento da política deve ir além do nível setorial, promovendo atividades capazes de transformar os setores existentes e estimular o surgimento de novos ([FORAY, 2018](#)). Além disso, as estratégias de especialização inteligente podem evitar a duplicação dos esforços, como no caso Europeu, que ao alinhar seus objetivos para promover o desenvolvimento da bioenergia, também direcionou os seus esforços para as energias renováveis marinhas, as redes inteligentes, os edifícios sustentáveis e a energia solar, isto é, gerando uma cadeia de transformação ([CEBOLLA; NAVAS, 2019](#)).

Por fim, a política industrial “moderna” consiste em uma abordagem sistêmica que coordena as políticas de inovação, regional e comercial. E, não apenas com a indústria de transformação em seu núcleo, mas também, com orientação para as indústrias a montante e a jusante, as mudanças setoriais, os *clusters* e as redes ([AIGINGER; RODRIK, 2020](#)). Nesse aspecto, a especialização inteligente pode auxiliar na identificação das atividades de capacidades domésticas que tenham potencial para ampliar o valor agregado da economia.

2.1. Evolução recente das políticas industriais e de inovação verde

A política industrial requer um ambiente macroeconômico estável e de baixo incerteza para que se possa evitar o imediatismo das políticas direcionadas para o curto prazo ([SUZIGAN; FURTADO, 2006](#)). No contexto da política industrial verde esses aspectos tornam-se ainda mais relevante, especialmente, pela natureza altamente experimental e de risco substancial das inovações verdes, quando comparada com as inovações convencionais ([RODRIK, 2014](#); [TAGLIAPIETRA, 2022](#)).

A inovação verde pode ser definida como a criação ou a melhoria de bens e serviços novos ou existentes que minimiza as “pegadas de carbono” e abre uma “janela verde” de oportunidade, já que os países em desenvolvimento podem recuperar o atraso econômico, reduzir as disparidades sociais e, ao mesmo tempo, mitigar as mudanças climáticas ([UN, 2023](#)). No entanto, o surgimento de empresas e tecnologias “verdes” requerem políticas dirigidas tanto para o lado da demanda (normas ambientais, regulamentos, metas e outros) quanto da oferta (créditos fiscais, subsídios, tarifas, empréstimos e outros) ([MAZZUCATO, 2014](#)).

O desenvolvimento de indústrias-chave para a sustentabilidade tem contado com o apoio governamental, especialmente para promover a pesquisa e o desenvolvimento, subsidiando os custos de descobertas das iniciativas empresariais ([MAZZUCATO, 2014](#); [ALTENBURG; RODRIK, 2017](#)). No caso das atividades de biotecnologia que é caracterizada como disruptiva e com alto grau de incerteza, nos EUA a atividade foi claramente impulsionada pela combinação de ações públicas e privadas ([NELSON, 2008](#)). Isso evidencia o papel do Estado “empreendedor” que assume a grande incerteza dos estágios iniciais e impulsiona a entrada do

setor privado nos setores estratégicos ([MAZZUCATO, 2014](#)). E, nesse contexto, a política industrial assume um papel indispensável para direcionar a economia global em uma trajetória de crescimento verde, dado que as inovações de elevado grau de incerteza *ex ante* tendem a ter uma atuação mais modesta do setor privado ([RODRIK, 2014](#)). No caso do setor eólico, por exemplo, [Irfan et al. \(2019\)](#) destacam o papel do Estado na criação de valor da indústria, pois as políticas de apoio, a legislação e os incentivos fiscais têm apresentado um efeito positivo sobre o seu desenvolvimento tecnológico.

A política industrial verde têm sido associada à geração de empregos e o realinhamento de poder entre o trabalho e o capital global, a partir de instrumentos diretos e indiretos que estimulam e facilitam o desenvolvimento das tecnologias ambientais ([ALLAN et al., 2021](#)). Esse tipo de política exige uma implementação de instrumentos específicos que vão além do conjunto de ferramentas das políticas tradicionais (industrial, comércio ou climática), pois embora a política climática vise a descarbonização e a política industrial vise o bem-estar social, a política industrial verde tem como finalidade conciliar esses objetivos, de descarbonização e bem-estar social ([TAGLIAPIETRA, 2022](#)). Cabe ressaltar que no longo prazo não há *trade-off* entre objetivos sociais, econômicos e ambientais, no entanto, no curto prazo há compensações que precisam ser consideradas, dado que as atividades mais disruptivas tendem a apresentar um benefício social superior aos retornos do investimento privado ([ALTENBURG; RODRIK, 2017](#)).

Assim, com justificativas teóricas relacionadas à iminente crise climática e ao bem-estar social, a política industrial verde apresenta inúmeros desafios políticos ([MAZZUCATO, 2014](#); [RODRIK, 2014](#); [IRFAN et al., 2019](#)). Para além das falhas de mercado e dos desafios de coordenação intrínsecos ao arcabouço da política industrial “moderna”, destacam-se a direção da mudança, a necessidade de experimentação e a ênfase crescente na adoção da inovação ([GRILLITSCH; HANSEN, 2019](#)). No entanto, o debate útil a ser realizado não é se a política industrial verde deve ser promovida ou não, mas como deve ser projetada, identificando os principais atores da cadeia de produção e a existência dos *spillovers* tecnológicos ([RODRIK, 2014](#)).

A combinação de políticas e a forma como a política industrial verde será promovida está relacionada aos estágios de desenvolvimento dos países ([UN, 2023](#)). Os países industrializados devem encorajar novas indústrias e orientar a mudança tecnológica com base no conhecimento existente para o surgimento de uma economia mais sustentável, a partir do desenvolvimento de inovações verdes ([AIGINGER; RODRIK, 2020](#)). Em países e/ou regiões periféricas, o desenvolvimento da indústria verde pode apresentar um grau maior de incerteza, sobretudo, pela falta de especialização local e inexistência de um sistema de inovação ([GRILLITSCH; HANSEN, 2019](#)). Nesses contextos, exigem-se mais do que uma simples imitação e sugerem-se instrumentos que estimulem a atualização e a criação de novas trajetórias, concentrando em novas prioridades como o apoio a grupos vulneráveis, a igualdade de gênero e a redução da utilização de energia fóssil ([AIGINGER; RODRIK, 2020](#)). Assim, é provável que os mecanismos da política industrial verde sejam distintos, na medida em que a transferência e difusão da tecnologia torna-se essencial para promover o desenvolvimento dessas inovações ([TAGLIAPIETRA, 2022](#); [UN, 2023](#)).

3. O MERCADO EÓLICO NO ÂMBITO INSTITUCIONAL, INDUSTRIAL E TECNOLÓGICO

Historicamente, a indústria eólica apresenta uma ascensão nas quatro últimas décadas (1982-2023), com marcos regulatórios, criação de órgãos, criação de instituições normativas, ampliação de instalações e avanços tecnológicos ([IRENA, 2019a; 2021b](#)), conforme ilustra a Figura 1. Parte disso pode ser atribuído a combinação da eminente crise climática e energética

com elevados níveis de desemprego e emissões de gases de efeito estufa dos setores intensivos em combustíveis fósseis (ANDERSEN et al., 2017).

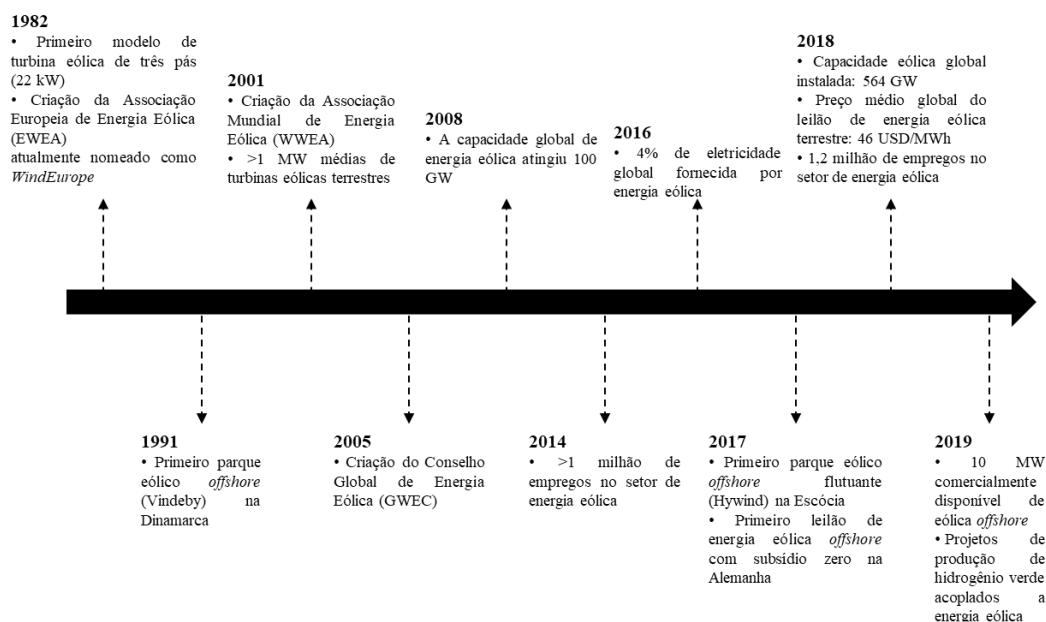


Figura 1 – Trajetória da indústria eólica no contexto global

Fonte: Elaboração dos autores, adaptado IRENA (2019a) e IRENA (2021b).

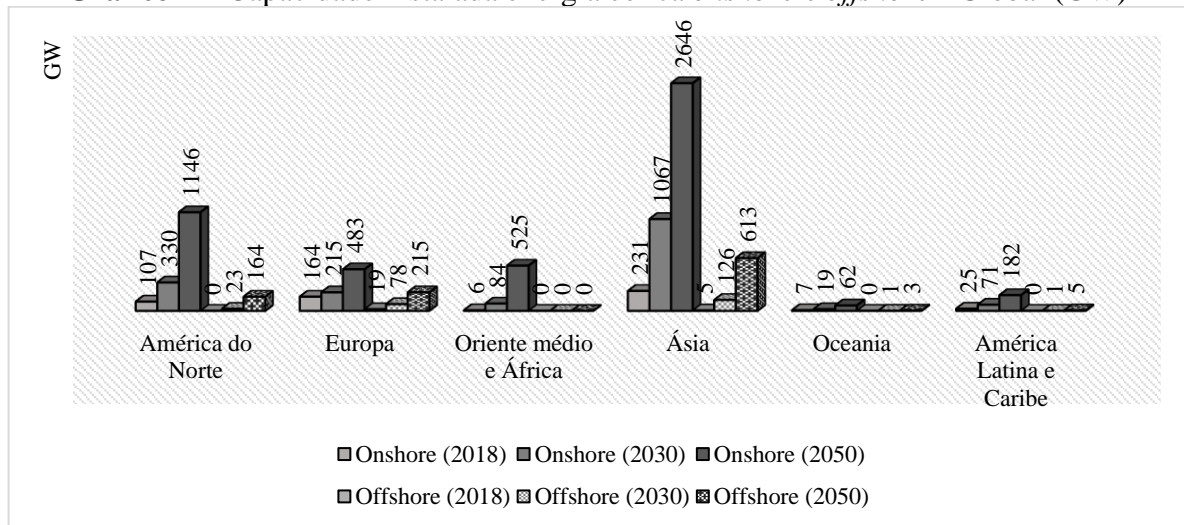
Na última década, a trajetória do mercado eólico (*onshore* e *offshore*) tem sido marcada com uma abrupta redução no custo de instalação. Em 2010, o custo de *onshore* era em torno da média de US\$ 1.971/kw e em menos de uma década reduziu-se para US\$ 1.355/kw, enquanto o custo de *offshore* em 2010 era em torno da média de US\$ 4.706/kw e em 2020 reduziu para US\$ 3.185/kw (IRENA, 2021d).

Na medida em que as barreiras (tecnológicas, mercado, regulatória ou ambiental) vão sendo superadas, novas trajetórias vão sendo viabilizadas, como no caso da tecnologia *offshore* que em 2019 já ofertava 10 MW no mercado global (IRENA, 2019a) e da produção de hidrogênio verde acoplados aos projetos eólicos em 2019 (IRENA, 2021b). Isso implica no aumento da competitividade tecnológica em relação as tecnologias convencionais, sobretudo, ao se considerar cenários com ampla disponibilidade de recursos e potencial de mercado (IRENA, 2023).

O setor eólico tem apresentado um exponencial crescimento da capacidade instalada global (ARAÚJO; WILLCOX, 2018). Em 2018, o setor eólico registrou uma capacidade instalada de 542 GW *onshore* e 24 GW *offshore*, juntas, geraram mais de 1,16 milhão de empregos no setor e estima-se uma geração de 6 milhões até 2050, destacando o potencial para a criação de novos postos de trabalho, sendo este superior ao desemprego gerado a partir da redução de atividades intensivas em combustíveis fósseis (IRENA, 2019a).

Atualmente o mercado mais relevante do setor eólico *onshore* se concentra na Ásia, principalmente China e Índia, com um expressivo investimento até 2050 (IRENA, 2019a), conforme ilustra o Gráfico 1. Cabe destacar que a China e Índia foram os países com o menor custo médio de instalação *onshore* em 2020, entre 20% e 67% mais baixos que os demais, além disso, foram responsáveis por quase metade da oferta de emprego eólico global (IRENA, 2021d). Seguido da Europa e América do Norte, com um custo médio instalado *onshore* de US\$ 1.870/kw e a geração de 140.800 empregos na Alemanha, e nos Estados Unidos com um custo médio instalado *onshore* de US\$ 1.660/kw e 114.000 empregos (IRENA, 2019a).

Gráfico 1 – Capacidade instalada energia eólica *onshore* e *offshore* - Global (GW)



Fonte: Elaboração dos autores, adaptado IRENA (2019a).

Até 2010 a Europa liderava o setor, porém foi ultrapassada pela China com quase um terço da capacidade instalada global. Em 2011, quatro das 10 maiores fabricantes de turbinas eólicas do mundo foram para a China. Assim, no ano seguinte a capacidade instalada da China já representava cerca de 26,7% da capacidade mundial (ZHANG et al., 2013). Segundo Hochstetler e Kostka (2015), as empresas internacionais do setor eólico transferiram não só tecnologia, mas também o *know-how* para as fábricas de montagem e fabricantes locais do mercado chinês. O sucesso do caso chinês, em parte, pode ser atribuído a dois principais fatores: i) a maturidade do sistema de inovação, juntamente com seus vínculos internacionais e, ii) uma série de políticas industriais e energéticas, implementadas a partir de 2005, incluindo a Lei de Energia Renovável.

A combinação do conhecimento acumulado, com o desenvolvimento das habilidades e das rotinas são fatores decisivos para se obter sucesso no mercado eólico, especialmente por se caracterizar como um mercado de mudanças incrementais, de experiência prática e atividades repetitivas (QUITZOW et al., 2017). A instalação de *offshore* na Alemanha, por exemplo, contou com a experiência adquirida ao longo dos anos com a indústria de construção naval, com a existência de atores-chave nas regiões e com a disponibilidade de uma infraestrutura industrial existente (FORNAHL, 2012). No que se refere a articulação entre as políticas industrial, energética e de ciência e tecnologia, o sucesso do mercado eólico espanhol contou como o apoio da coordenação de instituições europeias, nacionais e regionais para promover a articulação entre as políticas, que associada aos instrumentos legais proporcionaram condições favoráveis para o ambiente tecnológico e a expansão da infraestrutura no país (CONSOLI; UYARRA; 2016).

Dado que o desenvolvimento do setor requer um elevado investimento inicial com um longo período de retorno (IRENA, 2023), na Índia foi perceptível uma relutância inicial para os investimentos em novos projetos eólicos, ressaltando a importância da atuação do Estado “empreendedor” na criação de valor da indústria e no desenvolvimento de políticas de apoio direto (subsídios, incentivos fiscais ou financiamento) e indireto (normas, regulamentações ou legislação) (MAZZUCATO, 2014; IRFAN et al., 2019). Embora nos últimos anos tenha ocorrido um avanço no processo de transição energética da Índia, quando comparado com a China, a sua intervenção estatal ainda é limitada e menos eficaz no apoio para a capacidade de inovação no setor eólico (HAYASHI, 2020).

O caso da tecnologia *offshore* no Reino Unido mostra que mudanças substanciais podem ocorrer, na medida em que se desenvolvem políticas com metas de longo prazo e em articulação

com os interesses dos agentes do setor produtivo e usuários da tecnologia, levando em consideração os aspectos de natureza econômica, social e ambiental, como o crescimento econômico, a oferta de emprego e a segurança energética, por exemplo (KERN, 2014). Nesses cenários retardatários, o setor eólico tem exigido um maior nível de competitividade que a indústria local ainda não desenvolveu (ou está desenvolvendo) e para que se possa alcançar vantagens comparativas e competitivas nesse mercado faz-se primordial reduzir a distância cognitiva e tecnológica entre as empresas dos países *players* do mercado e as empresas domésticas (CARUANA, 2019).

3.1. Instituições, políticas e instrumentos de incentivos para o desenvolvimento do setor eólico: Os principais *players* e América do Sul

Há uma vasta literatura que enfatiza a importância das políticas regulatórias, dos incentivos fiscais e dos instrumentos de financiamento para a expansão e o desenvolvimento das tecnologias renováveis de energia, especialmente, das tecnologias emergentes (eólica, solar, geotérmica, hidrogênio e outros), tanto no lado da oferta quanto no lado da demanda (RODRIK, 2014; MAZZUCATO, 2014; TAGLIAPIETRA, 2022; REN21, 2023; IRENA, 2023). Para fins comparativos, o Quadro 1 apresenta as políticas e os instrumentos adotados entre os países da América do Sul e os principais *players* do mercado: China, Índia, Estados Unidos e Alemanha¹.

Quadro 1 – Principais políticas e incentivos para energias renováveis (2022)

Políticas/Instrumentos	Argentina	Bolívia	Brasil	Chile	Colômbia	Equador	Paraguai	Peru	Venezuel	Uruguai	EUA	Alemanh	China	Índia
<i>Feed-in</i> /pagamento de prêmio ¹	•		•			•		•		•	•	•	•	•
Cota de concessionária de energia elétrica ²	•	•		•				•			•		•	•
Medição/faturamento líquido ¹	•	•	•	•				•		•	•			•
Licitação ²	•	•	•	•	•	•		•		•	•	•	•	•
Redução imposto de vendas, energia, CO ₂ , IVA e outros impostos ¹	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
Investimento ou créditos fiscais de produção ¹	•		•	•	•						•	•	•	•
Produção de energia como forma de pagamento ²	•	•								•			•	•
Investimento público, empréstimos, doações, subsídios ou descontos ¹	•	•	•	•	•	•		•		•	•	•	•	•

Fonte: Elaboração dos autores, adaptado de REN (2023)¹ e REN (2021)².

Entre os países da América do Sul, a Argentina é o único país que tem adotado todas as políticas regulatórias e instrumentos de incentivos fiscais e de financiamento listados pelo REN21 (2023). Com a criação da Lei N. 27.191², que regulamenta a utilização de fontes renováveis para produção de energia elétrica, a Argentina passou a adotar metas ambiciosas de curto, médio e longo prazo, a fim de melhorar a segurança energética e mitigar as mudanças climáticas antropogênicas, estabelecendo como meta a composição de 20%, até 2025, de fontes renováveis na sua capacidade instalada de geração de energia. Além disso, em 2016 com o Programa RenovAr, o governo argentino contemplou uma série de benefícios fiscais e fontes de financiamento para o setor (MINEM, 2016; MINEM, 2018).

¹ Dois países de economias emergentes (China e Índia) e dois países avançados (EUA e Alemanha), selecionados a partir dos dados de capacidade instalada no Gráfico 1.

² Lei N. 27.191 que dispõe do Regime Nacional de Promoção do Uso de Fontes de Energia Renováveis para a Produção de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27191-253626/actualizacion>, última visualização 08/11/23.

As tarifas *feed-in* (FITs) e os prêmios de pagamento (FIPs) têm sido instrumentos de política regulatória amplamente utilizados para apoiar as renováveis, com revisões e reintroduções em vários países ([IRENA, 2023](#)). Em linhas gerais, esse instrumento fornece aos produtores um preço garantido e pode ser usado para promover a energia renovável centralizada ou descentralizada (pequena escala) ([REN21, 2021](#)). Em 2020, tanto o Chile quanto a Bolívia apresentaram as FITs/FIPs como um de seus instrumentos de política, porém, em 2022 esse mecanismo passou a não fazer parte do pacote de instrumentos dos países ([REN21, 2023](#)).

Dentre os países da América do Sul que adotam o sistema de cotas ou *Renewable Portfolio Standard* (RPS) como instrumento de política regulatória, destacam-se Argentina, Bolívia, Chile e Peru. Esse instrumento consiste em uma meta/obrigação de fornecer ou usar um valor mínimo de renováveis, predeterminado pelo governo. Um outro instrumento de política regulatória é a medição/faturamento líquido que tem como finalidade o incentivo ao autoconsumo e venda de eletricidade excedente para o mercado, dentre os países da América do Sul, apenas Colômbia, Equador, Paraguai e Venezuela não adotaram esse instrumento ([REN21, 2021](#); [2023](#)). O sistema de licitação (leilão) ocorre por meio de uma competição que gira em torno dos produtores que irão disputar a oferta de geração de energia ([CGEE, 2012](#)). Superior ao número de países que aderiram a tarifa *feed-in* em 2020³, dentre os países selecionados, apenas Paraguai e Venezuela não adotaram o sistema de licitação/leilão como um instrumento ([REN21, 2021](#)).

Cabe destacar que embora a Índia e os EUA tenham apresentado o maior volume de instrumentos direcionados para a transformação do sistema energético ([REN21, 2023](#)), ainda assim a Alemanha e a China têm adotado políticas mais agressivas, recorrendo a uma vasta gama de incentivos ([IRENA, 2023](#)). Na Alemanha, por exemplo, além da meta de redução de 40% nos níveis de emissão de gases de efeito estufa, há também um fundo energético e climático, apoio destinado para P&D e empréstimos de longo prazo a juros baixos ([RODRIK, 2014](#)). Na China, além do compromisso com a transformação do setor energético, o país tem adotado metas e objetivos para a transformação verde em várias indústrias do país (biotecnologia, TI, novos materiais, carros elétricos) ([MAZZUCATO, 2014](#)). Com o 14º Plano Quinquenal (2021-2025) em curso e o 15º Plano Quinquenal (2026-2030) em planejamento, o país propõe metas de redução gradual do consumo de carvão e ampliação de fontes renováveis na matriz, sendo este um dos principais desafios no âmbito de segurança energética do país ([UNEP, 2022b](#)).

Os instrumentos de licitação, redução de impostos, investimento público, empréstimos, doações, subsídios e descontos apresentaram relevância em quase todos os mercados da amostra, com exceção da Venezuela que não apresenta nenhum instrumento para as energias renováveis ([REN21, 2021](#)). Esses mecanismos de incentivos associados ao desenvolvimento e à difusão das tecnologias renováveis minimizam os riscos e as incertezas intrínsecas ao mercado, em outras palavras, melhoram os perfis de risco-retorno dos projetos ([IRENA, 2023](#)). No entanto, cabe ressaltar que a combinação adequada de políticas (regulatórias, de geração de demanda e de preços) dependerá da escala de geração (utilitária, distribuída ou descentralizada), das especificidades e da maturidade tecnológica de cada país ([IEA, 2023b](#)).

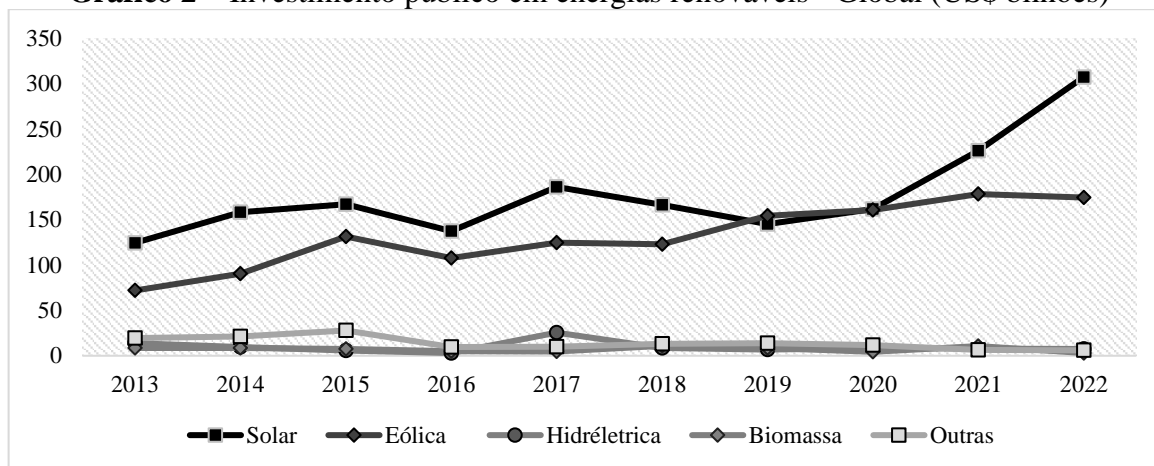
Nesse contexto, embora em 2015 mais de 80% dos investimentos⁴ total em energia renovável a nível global foram promovidos a partir do setor privado (predominantemente de empresas ou instituições financeiras comerciais), ainda assim, a atuação do Estado tem desempenhado um papel relevante nos condicionantes de um ambiente capaz de encorajar os investimentos ([IRENA, 2023](#)). Além disso, os bancos de investimento estatais têm assumido um papel de liderança no desenvolvimento de algumas economias emergente ([MAZZUCATO,](#)

³ Em 2020, identificou-se um total de 116 países que adotaram o sistema de licitação/leilão, enquanto 83 países adotaram o sistema *feed-in* ([REN21, 2023](#)).

⁴ O que corresponde à 276,31 US\$ bilhões do total ([IRENA, 2023](#)).

2014). Ao longo das duas última décadas (2000-2020), as três principais instituições financeiras estatais para as energias renováveis foram, respectivamente: i) *Ex-Im* Bank da China com uma participação de 17% de valor acumulado em mais de US\$ 44 milhões em 2021; ii) Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) com uma participação de 16% de valor acumulado em mais de US\$ 43 milhões em 2021; e iii) *European Investment Bank* (EIB) com uma participação de 9% do financiamento total e valor acumulado de mais de US\$ 24 milhões em 2021 (IRENA, 2023).

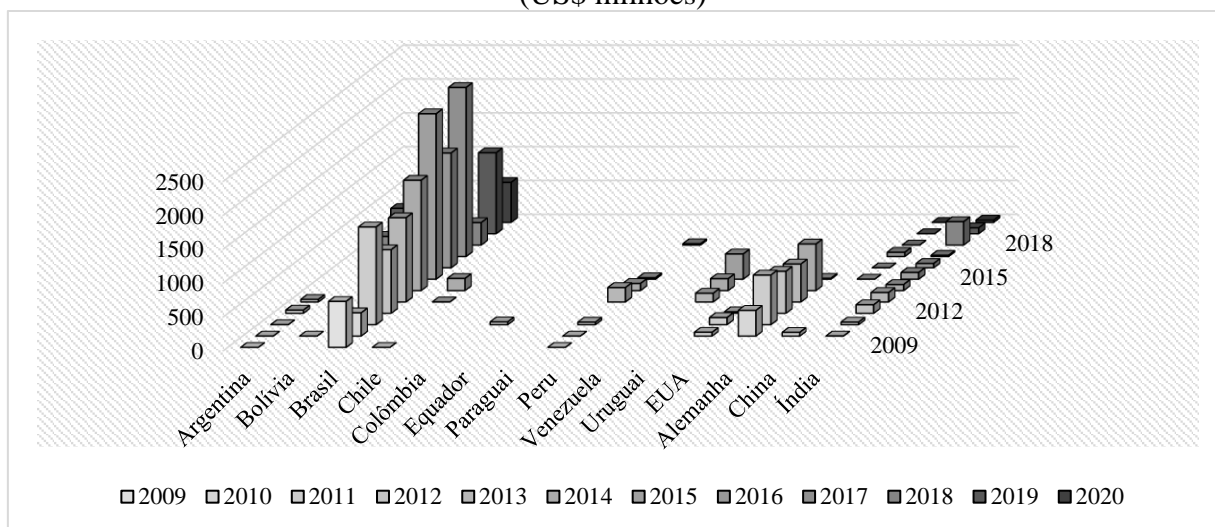
Gráfico 2 – Investimento público em energias renováveis - Global (US\$ bilhões)



Fonte: Elaboração dos autores, com dados da IRENA (2022).

No âmbito do investimento público, desde 2016, houve um aumento no volume total do dispêndio global anual em tecnologias de fonte eólica e solar (IRENA, 2022), conforme ilustra o Gráfico 2. Parte desse recurso público, em 2020, foi realizado internamente (80%) por instituições financeiras estatais, instituições financeiras de desenvolvimento (IFD) nacionais e empresas estatais, devido ao baixo fluxo de investimento internacional no período. Os demais 20%, correspondem às IFD bilaterais e multilaterais, às subvenções e empréstimos (IRENA, 2023).

Gráfico 3 – Investimento público em energia eólica – América do Sul e *players* do mercado (US\$ milhões)



Fonte: Elaboração dos autores, com dados da IRENA (2022).

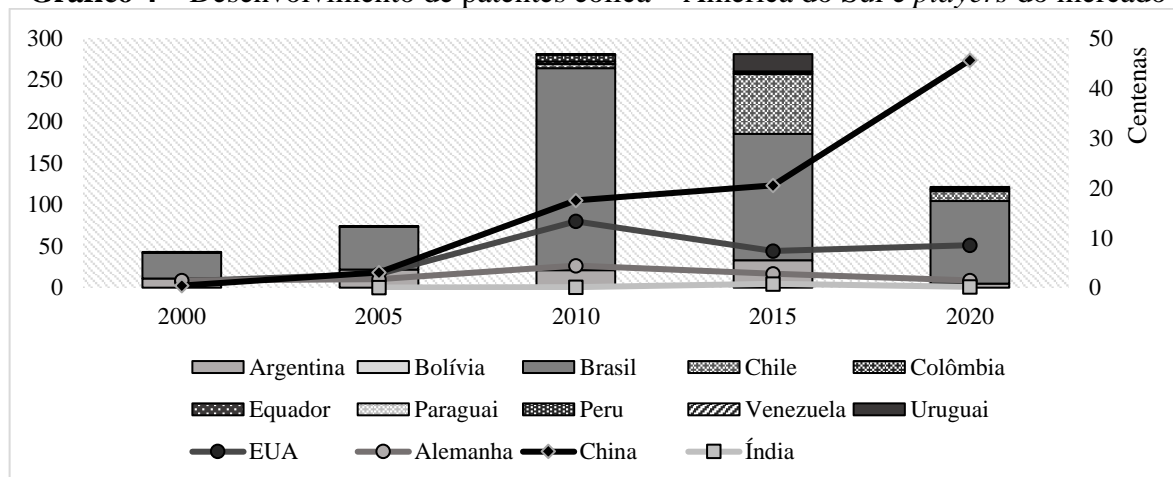
Nota¹: ano base 2019.

No mercado eólico, além dos mecanismos mencionados, a demanda global também tem sido impulsionada por outros instrumentos de políticas, incluindo os requisitos de conteúdo local e as encomendas tecnológicas (ARAÚJO; WILLCOX, 2019). Na Alemanha, por exemplo, um dos principais instrumentos de incentivos para o setor eólico tem sido a tarifa *feed-in*, enquanto nos Estados Unidos são os mecanismos de compra voluntária de eletricidade e as metas de participação em energia eólicas, isto é, sistemas de cotas com certificados verdes ou RPS. No caso brasileiro, o sistema de leilões e a política de requisito de conteúdo local promovido pelo BNDES, têm sido um instrumento primordial para ampliar a maturidade do setor (PODCAMENI, 2014; ARAÚJO; WILLCOX, 2019).

Conforme ilustra o Gráfico 3, entre 2009 e 2020, é possível identificar um montante significativo do investimento público em energia eólica no Brasil (IRENA, 2022). Parte disso pode ser atribuído ao papel relevante que o banco estatal de desenvolvimento exerce (MAZZUCATO, 2014), pois embora tenha reduzido o volume de investimento nos últimos anos, ainda assim assume um papel de liderança.

De acordo com o IRENA (2019), os últimos anos têm registrado um aumento significativo dos investimentos em energia eólica *onshore*, em 2013 os investimentos no setor eram de 63 bilhões de dólares, que passou a ser de 80 bilhões de dólares em 2016. Entre 2021 e 2022, os investimentos atingiram US\$ 176 bilhões (IRENA, 2023). No entanto, ainda se caracterizam como investimentos modestos, pois para que se possa alcançar as metas de expansão da capacidade instalada estabelecidas para 2030 e 2050, faz-se necessário a ampliação dos investimentos anuais no âmbito global (IRENA, 2019). Não obstante, com a vida útil de algumas infraestruturas terminando, será necessário uma parcela do investimento para a revitalização dos parques eólicos existentes, a partir do desenvolvimento de políticas de integração que canalizem os investimentos públicos para infraestruturas, linhas de transmissão e instalações de armazenamento, por exemplo (IRENA, 2023).

Gráfico 4 – Desenvolvimento de patentes eólica – América do Sul e *players* do mercado



Fonte: Elaboração dos autores, com dados da OECD (2022).

Nota¹: variável relacionada a geração, transmissão e distribuição.

Conforme mencionado anteriormente, um dos desafios da política industrial consiste em induzir mudanças no comportamento inovador das empresas, isto é, uma mudança estrutural (SUZIGAN et al., 2020). Essencial para a maturidade do setor, a inovação consiste em um elemento-chave na redução dos custos da tecnologia (RODRIK, 2004; MAZZUCATO, 2014). Assim, utilizando como *proxy* de inovação o número de patentes de energia eólica, o Gráfico 4 apresenta a evolução nas duas últimas décadas para os países da América do Sul e os *players*

do mercado⁵. Os dados ressaltam uma intensa disparidade entre os países da América do Sul e os principais *players*, a China e os EUA, por exemplo, em 2020 registraram um total de 4558 e 833 patentes, respectivamente, enquanto no Brasil houve um registro de 99 patentes e Uruguai e Colômbia apenas 2 patentes cada país.

Cabe ressaltar que a falta de interação entre as instituições locais pode acarretar a inibição das transnacionais no processo de desenvolvimento inovativo local. Em outras palavras, embora os mecanismos de financiamento e os incentivos para o mercado interno apresentem potencial de expansão no setor, para que esse processo ocorra de forma sustentável ao longo dos anos é imprescindível a criação de políticas e instrumentos complementares que promovam a conexão entre universidade-empresa, a fim de desenvolver suas competências novas e pré-existentes no âmbito local e encorajar uma relação mais coordenada entre as políticas industrial, energética e de C&T. Para [Mazzucato \(2014\)](#), o sucesso da transformação do sistema de energia está repleto de mudanças industriais coletivas e complementares.

3.2. Especificidades e potencialidades do setor eólico no contexto da América do Sul

A matriz energética dos países da América do Sul ainda apresenta uma participação significativa de fontes não-renováveis, conforme ilustra a Figura 2. A Argentina entre 2005 e 2015, havia registrado um aumento da participação de petróleo e carvão na matriz energética. Em 2020, do total, 16,88% da matriz correspondia à fonte hídrica, seguida da nuclear com 7,45% e da eólica com 6,55% ([IEA, 2022](#)). Cabe ressaltar que entre 2015 e 2020, a produção de energia eólica saltou de 593 (GWh) para 9.412 (GWh), parte desse resultado pode ser atribuído ao Programa RenovAr, que definiu uma meta obrigatória da participação de 20% de fontes renováveis até 2025. Ainda de acordo com o Programa, projetava-se a oferta de mais de 14.000 novos empregos (construção, operação e manutenção) e, destes, 6.098 de novos parques eólicos nas regiões da Patagonia, em Buenos Aires e Comahue ([MINEM, 2018](#)).

Do mesmo modo, na Bolívia em 2020 a fonte de gás natural correspondeu a mais de 60% da matriz energética do país, seguida da fonte hídrica com uma participação de 29,49% e solar com 3,33%. Dentre as tecnologias disponíveis, a fonte eólica registrou a menor participação com apenas 0,64% do total ([IEA, 2022](#)). Com elevado potencial para a geração de eletricidade a partir de painéis fotovoltaicos estima-se uma capacidade de geração de 97.534,30 MWh/ano em Santa Cruz, 148.048,43 MWh/ano em Cochabamba e 274.736,61 MWh/ano em El Alto e La Paz. Entretanto, para que se concretize esse potencial faz-se necessário estímulos tanto do setor público quanto do setor privado ([IRIGOYEN, 2023](#)). Além do potencial de energia solar, com o desenvolvimento do Plano do Setor Elétrico do Estado Plurinacional da Bolívia 2025, estima-se a expansão de 100 MW geotérmica, 53 MW eólica e 10 MW biomassa ([IEA, 2023c](#)).

Com um *portfólio* de tecnologia superior ao da Bolívia, no Brasil as fontes renováveis têm participação majoritária na matriz energética com total de 63,80% de fonte hídrica, 9,46% biocombustíveis e 9,18% eólica, sendo esta última a fonte energética de maior crescimento na última década ([IEA, 2022](#)). Marcado por diferentes modelos de políticas industriais e de desenvolvimento produtivo, como a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), o Plano de Desenvolvimento Produtivo (PDP), o Plano Brasil Maior (PBM) e o Plano de Aceleração Econômica (PAC I e II), dentre as principais linhas de ação se destacavam as atividades “portadoras de futuro” (biotecnologia, nanotecnologia e energias renováveis), que contou com a participação do financiamento do BNDES ([LAPLANE; LAPLANE, 2017](#)). No âmbito da política energética, os Planos Decenal de Energia (PDE) e o Plano Nacional de

⁵ Cabe destacar que a falta de dados não significa inexistência da disponibilidade de financiamento nesses países, pois pode sinalizar apenas que ainda não foi mensurada. Isso dificulta, portanto, a análise comparativa desses aspectos entre os países em que já foram medidos e aqueles em que ainda não foram.

Energia 2050 (PNE), são alguns dos programas coordenados pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e tem como objetivo a definição de metas de curto, médio e longo prazo para a expansão das renováveis ([MME, 2023](#)).

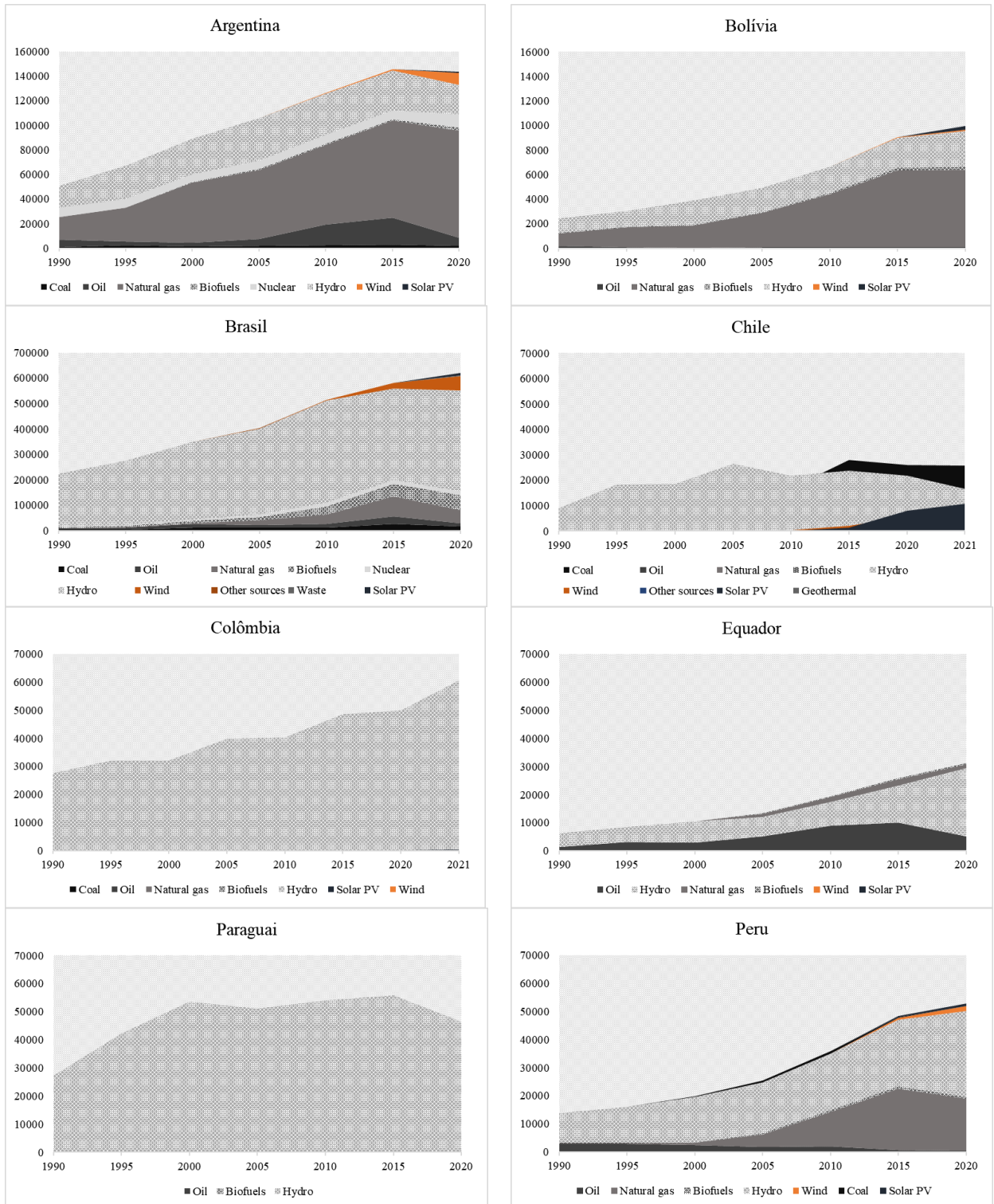


Figura 2 – Produção de energia por fontes – América do Sul, 2020 (GWh)⁶.

Fonte: Elaboração dos autores a partir dos dados da IEA (2022).

⁶ Para fins de representatividade gráfica, alguns países (Argentina, Bolívia, Uruguai e Venezuela) tiveram uma escala menor no eixo vertical na plotagem.

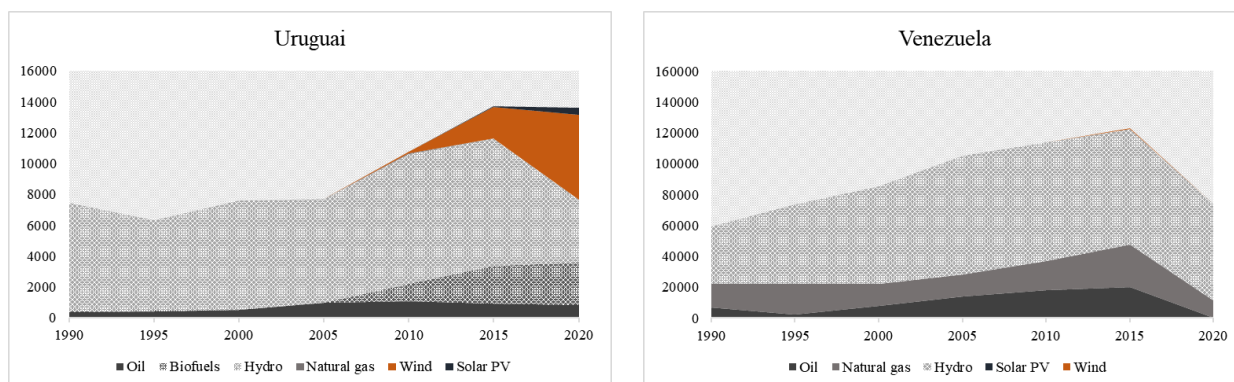


Figura 2 – Produção de energia por fontes – América do Sul, 2020 (GWh) (continuação)

Fonte: Elaboração dos autores a partir dos dados da IEA (2022).

No Chile, a produção de energia eólica foi a fonte de energia com a maior taxa de crescimento, entre 2010 e 2021, saindo de 7 GWh em 2010 para 7222 GWh em 2021. Em 2006, o país redefiniu sua política energética a fim de incrementar a participação das fontes renováveis a partir de um conjunto de instrumentos diretos (crédito e garantias para esse tipo de tecnologia, subsídios para as linhas de transmissão, estímulos para geração em geotérmicas e fomentos para P&D em biocombustíveis) e indiretos (leis, regulamentos) ([ÁLVAREZ; SUTIN, 2017](#)). No entanto, em 2020, a participação de tecnologias renováveis não convencionais na matriz energética do Chile ainda era inferior a fonte de carvão (29,92%), hídrica (19,24%) e gás natural (18,01%) ([IEA, 2022](#)).

Eventos recentes como a pandemia da COVID-19 e a crise da Ucrânia pela Federação Russa, têm evidenciado a volatilidade dos preços e, conseqüentemente, da segurança energética em diversas economias ([IRENA, 2023](#)). Majoritariamente de fonte hídrica, a Colômbia (62,83% do total da sua matriz), o Equador (77,79% do total da sua matriz), o Paraguai (99,99% do total da sua matriz), o Peru (57,78% do total da sua matriz) e a Venezuela (84,17% do total da sua matriz), podem apresentar problemas de flexibilidade e vulnerabilidades na oferta de energia, especialmente, com secas nos reservatórios provocadas pelas mudanças climáticas.

No Uruguai, a fonte de energia eólica compõe a maior participação na matriz energética, registrando uma contribuição maior que 40% em 2020, seguido de fonte hídrica com 30,11% e biocombustíveis com 20,24%. Contudo, com baixa disponibilidade de reservas de petróleo, gás natural ou demais combustíveis fósseis, em 2005, o Uruguai importou 64% do total da oferta primária e, em 2008, registrou o seu maior nível de emissão de carbono *per capita* com 2,5 toneladas ([GRAMKOW, 2019](#)). Até 2010, o país produzia apenas 70 GWh e, em 2020, passou a produzir 5476 GWh a partir de fonte eólica ([IEA, 2022](#)). Parte desse resultado de expansão e redução da pressão da matriz energética sobre a conta corrente, pode ser atribuído a mobilização de investimentos promovidos pela Política Energética 2005-2030, que estabelece diretrizes e metas de curto, médio e longo prazo ([BÉRTOLA; LARA, 2017](#); [GRAMKOW, 2019](#)).

Em linhas gerais, os países têm sinalizado uma transformação do setor energético (alguns mais acelerados que outros), a fim de reduzir as fragilidades em termos tanto de segurança energética quanto de soberania ou vulnerabilidade econômica externa. Novas tecnologias emergentes vêm sendo incentivadas pelos governos, uma dessas tendências tem sido a produção de hidrogênio verde. Essa fonte pode potencializar a instalação de fontes já existentes colaborando para a redução dos preços e fornecer competitividade, segurança e flexibilidade na oferta de energia, provenientes de fontes eólica (como no Uruguai) e solar (como no Chile a partir da abundância solar da região do Atacama).

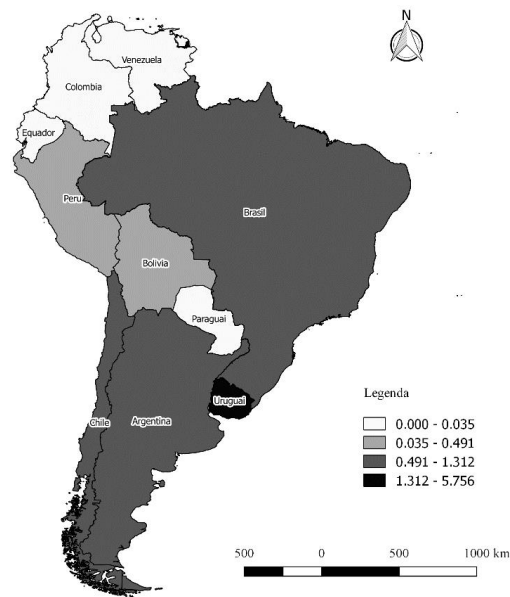


Figura 3 – Especialização⁷ eólica da América do Sul, 2020.

Fonte: Elaboração dos autores.

Diante do exposto, identifica-se que Argentina, Brasil, Chile e Uruguai, apresentam planos e metas mais incisivas para a expansão das renováveis. Com uma potencialidade competitiva no mercado eólico, o Uruguai se destaca com alto grau de especialização, conforme ilustra a Figura 3, e espera-se que nos próximos anos (com o crescimento da demanda por hidrogênio verde) ocorra uma ampliação da produção eólica e solar no país (FERRAGUT, 2022). No caso da Bolívia e Peru, ambos apresentam apenas indícios de especialização, enquanto Paraguai, Equador, Colômbia e Venezuela não apresentam especialização segundo os dados de 2020 da produção primária de energia dos respectivos países. Por fim, esses resultados podem sinalizar não só as potencialidades, mas também os seus desafios, pois com o cenário de descarbonização global há uma “janela verde” de oportunidades a ser explorada e as economias da América do Sul podem ser protagonistas nesse processo.

Diante desse mapeamento, e tendo como pano de fundo as reduções dos custos associados às tecnologias emergentes é evidente uma oportunidade para acelerar a transformação do setor. No entanto, sem a coordenação entre a política industrial, de C&T e energética de médio e longo prazo, os custos da cadeia de abastecimento podem apresentar uma reversão nos cenários em que a oferta não acompanhe a demanda. Além disso, os obstáculos associados aos regulamentos dessas tecnologias e a disponibilidade de recursos destinados para P&D e infraestruturas (novas e revitalizações), podem desestimular o aproveitamento dessa “janela” e, conseqüentemente, limitar o potencial crescimento dessas economias.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse artigo propôs apresentar reflexões sobre as potencialidades e os desafios para o setor eólico na América do Sul, à luz do papel das instituições e das políticas industriais e de

⁷ Calculados a partir da razão entre produção eólica do país em relação a produção de energia total do país e a razão entre produção eólica da América do Sul em relação a produção de energia total da América do Sul, em GWh. A interpretação tem como parâmetro o numeral 1: se $QL > 1$, o setor de energia eólica tem relativa importância para o país k , em relação ao contexto de todos os países da região (América do Sul) ou que o país k é relativamente mais especializado no setor de energia eólica em comparação as demais fontes de energia; se $0,5 < QL < 1$, há indícios de especialização; se $QL < 0,5$ não há especialização.

inovação. Em específico, comparar as experiências dos principais *players* do mercado e os países da América do Sul (Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Paraguai, Peru, Uruguai, Venezuela) a partir de indicadores de especialização para emprego e produção de energia, bem como, seus principais instrumentos e incentivos para o desenvolvimento do mercado.

A indústria eólica mundial, nas quatro últimas décadas, apresentou um avanço exponencial na capacidade instalada e de produção e na redução dos custos de instalações associados a essa tecnologia. Parte dessa expansão pode ser atribuída a criação de um ambiente que viabilizou esse desempenho, com o desenvolvimento de marcos regulatórios, da criação de órgãos, da criação de instituições normativas e da ampliação de recursos financeiros destinado ao setor. Liderado pela China, Alemanha, Estados Unidos e Índia, o setor eólico *onshore* em 2018 apresentou uma capacidade instalada global de 542 GW e *offshore* 24 GW, juntas, geraram mais de 1 milhão de empregos no setor, com estimativas da criação de até 6 milhões de novos postos de trabalho. A literatura destaca que parte do sucesso chinês pode ser atribuído a maturidade do sistema de inovação do país, bem como, de uma série de políticas industriais e energéticas implementadas desde 2005.

Em alguns países a combinação do conhecimento, das competências, das habilidades e das rotinas foram primordiais para obter sucesso no mercado eólico, destacando-se o caso alemão, que contou com a experiência adquirida ao longo dos anos com a indústria de construção naval. A experiência do Reino Unido mostra que, mesmo em contextos retardatários, as mudanças substanciais podem ocorrer, na medida em que se desenvolvem políticas com metas ambiciosas e em articulação com os interesses dos agentes do setor produtivo.

No contexto do desempenho dos países da América do Sul, na última década a tecnologia de energia eólica vem ganhando fôlego na indústria doméstica. Dentre os demais, a Argentina é o único país que tem adotado políticas regulatórias e instrumentos de incentivos fiscais e de financiamento listados pelo REN21 (2023). Quanto ao tipo de instrumento, as tarifas *feed-in* (FITs) e os prêmios de pagamento (FIPs) têm sido instrumentos de política regulatória amplamente utilizados para apoiar as renováveis em diversas economias, no entanto, Chile, Bolívia, Colômbia, Paraguai e Venezuela, em 2022, não utilizaram esse mecanismo. No estímulo da demanda, a contratação por meio de leilões foi identificada em quase todos os países da amostra, com exceção do Paraguai e da Venezuela, sendo este último o único país que não utilizou nenhum instrumento no período dessa análise.

Além desses mecanismos, os instrumentos de redução de impostos, aumento de investimento público, empréstimos, doações e subsídios fazem parte dos instrumentos utilizados por quase todos os países (exceção da Venezuela). No entanto, não há uma homogeneidade entre os países e, de fato, a combinação adequada de instrumentos dependerá da escala de geração, das especificidades e da maturidade tecnológica de cada país.

Em termos de investimentos, em 2015 o setor privado financiou mais de 270 US\$ bilhões em tecnologias renováveis, com uma maior destinação para fonte eólica e solar. No entanto, destaca-se o papel do Estado “empreendedor” enquanto regulador e direcionador desses esforços, sinalizando que no longo prazo as “regras do jogo” não serão alteradas e, consequentemente, minimizando a percepção de risco do agente privado. Além disso, o cenário tem sido fomentado pelos bancos estatais de desenvolvimento que nas duas últimas décadas, juntos, fomentaram mais de 100 US\$ milhões (acumulado até 2021) em energias renováveis: i) *Ex-Im Bank* da China; ii) Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e iii) *European Investment Bank* (EIB).

No âmbito eólico, em específico, o instrumento de requisito de conteúdo local e as encomendas tecnológicas foram essenciais para promover o desenvolvimento de uma indústria doméstica, como no caso brasileiro. Com um volume elevado de investimento público, o Brasil

tem assumido um papel de liderança de mercado, especialmente quando comparada com as demais economias da América do Sul. No entanto, estima-se que para atender as metas estabelecidas até 2050, faz-se imprescindível a ampliação dos investimentos no setor, destinando parte do recurso para a revitalização e a criação de novas infraestruturas, linhas de transmissão e instalações de armazenamento.

No que se refere ao desenvolvimento tecnológico, mensurado a partir do número de patentes e a disponibilidade de financiamento público direcionado para P&D, há um *gap* entre as economias da América do Sul e os países *players* do mercado (China, Índia, EUA e Alemanha). O que ressalta, portanto, a necessidade de instrumentos direcionados para o ambiente científico e tecnológico, a fim de criar um ambiente impulsionador de especializações com elevado conteúdo tecnológico e maior valor agregado.

Concomitantemente aos instrumentos das políticas industriais e de inovação (incentivo direto), a política energética de médio e longo prazo é essencial para estabelecer metas e diretrizes do processo de transformação do setor (incentivo indireto). Dentre os países da América do Sul, o Uruguai, o Brasil, a Argentina e o Chile (esse último em menor proporção) têm apresentado planos e metas de expansão de energias renováveis no fornecimento energético. O Uruguai, especialmente, apresenta a maior participação de fonte eólica na matriz, com uma expansão exponencial na última década. Além disso, estima-se um aumento da demanda com o desenvolvimento de projetos de hidrogênio verde promovidos pelo setor eólico. Em linhas gerais, os resultados do indicador de especialização apontam o Uruguai como o país com alto grau de especialização, enquanto Brasil, Argentina e Chile apresentam indícios de especialização. Sinalizando, portanto, não só as potencialidades dessas economias, mas também os desafios a serem superados.

Por fim, o setor eólico tem sido apontado como um ambiente promissor para a descarbonização energética, inclusive para impulsionar outras tecnologias renováveis não convencionais, como o hidrogênio verde. E, embora seja um desafio diante da multiplicidade de objetivos, o presente debate assume como fator predominante para as economias da América do Sul a combinação e a coordenação entre as políticas industriais, de C&T e energéticas, para que se possa identificar e aproveitar os benefícios do processo da transformação do sistema energético para um sistema ambientalmente sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEMOGLU, Daron; et al. Institutions as a Fundamental Cause of Long-Run Growth. **Handbook of Economic Growth**, v. 1A., p. 385-464, 2005.
- ANDERSEN, Poul; et al. Industry evolution, submarket dynamics and strategic behaviour among firms in offshore wind energy. **Competition & Change**, v. 21, n. 2, p. 73–93, 2017.
- AIGINGER, Karl; RODRIK, Dani. Rebirth of Industrial Policy and an Agenda for the Twenty-First Century. **Journal of Industry, Competition and Trade**, v. 20, p. 189–207, 2020.
- ALTENBURG, Karl; RODRIK, Dani. Green industrial policy: accelerating structural change towards wealthy green economies. In: **Green industrial policy: concept, policies, country experiences**, UN Environment, 2017.
- ALLAN, Bentley; et al. Green Industrial Policy and the Global Transformation of Climate Politics. **Global Environmental Politics**, v. 21, n. 4, 2021.
- ÁLVAREZ, Carlos; SUTIN, Tania. Políticas industriales y tecnológicas en Chile: el desafío de la transformación productiva. In: **Políticas industriales y tecnológicas en América Latina**, CEPAL, 2017.
- ARAÚJO, Bruno. WILLCOX, Luiz. Reflexões críticas sobre a experiência brasileira de política industrial no setor eólico. **BNDES Setorial**, v. 47, p. 163-220, 2018.

- BUEN, Jorund. Danish and Norwegian wind industry: The relationship between policy instruments, innovation and diffusion. **Energy Policy**, v. 34, p. 3887–3897, 2006.
- BÉRTOLA, Luis; LARA, Cecilia. Política industrial en el ciclo de los commodities en Uruguay. In: **Políticas industriales y tecnológicas en América Latina**, CEPAL, 2017.
- CARUANA, María. La energía renovable en Argentina como estrategia de política energética e industrial. **Revista Problemas del Desarrollo**, v. 197, n. 50, 2019.
- CBI – Climate Bonds Initiative. **América Latina & Caribe: Análise do Mercado de Finanças Sustentáveis**. CBI, Banco Interamericano de Desenvolvimento e International Finance Corporation, 2021.
- CEBOLLA, Rafael; NAVAS, Carlos. Supporting hydrogen technologies deployment in EU regions and Member States: The Smart Specialisation Platform on Energy (S3PEnergy). **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, p. 19067- 19079, 2019.
- CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos: Ciência, Tecnologia e Inovação. **Análises e percepções para o desenvolvimento de uma política de CT&I no fomento da energia eólica no Brasil**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2012.
- CHANG, Ha-Joon. Institutions and economic development: theory, policy and history. **Journal of Institutional Economics**, v. 7, n. 4, p. 473–498, 2011.
- CHANG, Ha-Joon. Um estudo sobre a relação entre Instituições e Desenvolvimento Econômico – algumas questões teóricas fundamentais. **Revista de Economia Heterodoxa**, n. 10, p. 13-31, 2008.
- CIMOLI, Mario; et al. Los fundamentos de las políticas industriales y de innovación. In: **Políticas industriales y tecnológicas en América Latina**, CEPAL, 2017.
- CONSOLI, Cristian; UYARRA, Elvira. Multi-level policy mixes and industry emergence: The case of wind energy in Spain. **Government and Policy**, 0 (0), p. 1-23, 2016.
- DELGADO, Ignacio. Política industrial na china, na índia e no brasil: legados, dilemas de coordenação e perspectivas. **Texto para discussão, 2059/IPEA**, 2015.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Inova-E Brasil**. Disponível em: <<http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com/inova-e/index.html>>. Acesso em: 22/03/22.
- FABRIS, Leonardo. Instituições e Redes na Indústria de Aerogeradores: O Caso da Empresa WEG. **Revista Contraponto**, ed. Especial, v. 7, n. 2, 2020.
- FERRAGUT, Pablo. **Hidrógeno verde y el potencial para Uruguay: Insumos para la elaboración de la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde de Uruguay**. Banco Interamericano de Desarrollo, 2022.
- FORAY, Dominique. Smart specialization strategies as a case of mission-oriented policy: a case study on the emergence of new policy practices. **Industrial and Corporate Change**, v. 27, n. 5, p. 817–832, 2018.
- FORNAHL, Dirk. From the Old Path of Shipbuilding onto the New Path of Offshore Wind Energy? The Case of Northern Germany. **European Planning Studies**, v. 20, n. 5, 2012.
- GONÇALVES, Arthur. Perspectivas de futuro para a política energética chinesa e suas implicações nas relações sino-brasileiras. **Petrel** (54), v.03, n. 05, 2021.
- GRAMKOW, Camila; et al. **O grande impulso (big push) energético do Uruguai**. Série Estudos e Perspectivas-Escritório da CEPAL em Brasília, nº 4, 2019.
- GRILLITSCH, Markus. Institutions, Smart Specialisation Dynamics and Policy. **Papers in Innovation Studies**, 2015.
- GRILLITSCH, Markus, ASHEIM, Bjørn. Place-based innovation policy for industrial diversification in regions. **European Planning Studies**, v. 26, n. 8, p. 1638-1662, 2018.
- GRILLITSCH, Markus; HANSEN, Teis. Green industry development in different types of regions. **European Planning Studies**, v. 27, n. 11, p. 2163–2183, 2019.

- HAYASHI, Daisuke. Harnessing innovation policy for industrial decarbonization: Capabilities and manufacturing in the wind and solar power sectors of China and India. **Energy Research & Social Science**, v. 70, n. 101644, 2020.
- HOCHSTETLER, Kathryn; KOSTKA, Genia. Wind and Solar Power in Brazil and China: Interests, State–Business Relations, and Policy Outcomes. **Global Environmental Politics**, v. 15, n. 3, 2015.
- IEA – International Energy Agency. **Energy Technology Perspectives 2023**. International Energy Agency (IEA), 2023a.
- IEA – International Energy Agency. **Scaling up Private Finance for Clean Energy in Emerging and Developing Economies**. International Energy Agency (IEA) and International Finance Corporation (IFC), 2023b.
- IEA – International Energy Agency. **Policies database**. International Energy Agency (IEA), 2023c. Disponível em: <<https://www.iea.org/policies?country=Bolivia&q=bolivia>>. Acesso em: 14/11/23.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper)**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019a.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Hydrogen: A renewable energy perspective**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019b.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ed. 2020a.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Renewable energy finance: Green Bonds**. (Renewable Energy Finance Brief 03, January 2020), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2020b.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2021a.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Offshore renewables: An action agenda for deployment**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2021b.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Tracking the impacts of innovation: Offshore wind as a case study**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2021c.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Renewable Power Generation Costs in 2020**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2021d.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Global landscape of renewable energy finance**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2023.
- IRENA – International Renewable Energy Agency. **Sources of Investment**. Disponível em: <<https://www.irena.org/financeinvestment>>. Acesso em: 23/03/22.
- IRFAN, Muhammad; et al. Competitive assessment of Indian wind power industry: A five forces model. **Renewable Sustainable Energy**, v. 11, n. 063301, 2019.
- IRIGOYEN, José; et al. **De la crisis COVID-19 a la resiliencia: herramientas para los actores del sector de energía eléctrica en América Latina y el Caribe**. BID, 2023.
- KERN, Florian; et al. From laggard to leader: Explaining offshore wind developments in the UK. **Energy Policy**, 2014.
- KEMP, René; NEVER, Babette. Green transition, industrial policy, and economic development. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 33, n. 1, p. 66–84, 2017.
- LAPLANE, Mariano; LAPLANE, Andrea. Planes industriales y los desafíos del desarrollo sostenible en Brasil. In: **Políticas industriales y tecnológicas en América Latina**, CEPAL, 2017.
- MATHIAS, João; et al. Green new deal como estratégia de desenvolvimento pós-pandemia: lições da experiência internacional. **Revista Tempo do Mundo**, n. 26, 2021.

- MAZZUCATO, Mariana. **O Estado Empreendedor: Desmascarando o Mito do Setor Público vs. Setor Privado**. São Paulo: Portfolio Perguin, 2014.
- MAZZUCATO, Mariana. Challenge-Driven Innovation Policy: Towards a New Policy Toolkit. **Journal of Industry, Competition and Trade**, v. 20, p. 421–437, 2020.
- MINEM – MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA. **Energías renovables en Argentina**. Informe a diciembre, 2016. Subsecretaría de energías renovables, 2016.
- MINEM – MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA. **Generación de empleo energías renovables. Programa RenovAr y MATER**. Subsecretaría de energías renovables, 2018.
- MONASTERIO, Leonardo. Indicadores de análise regional e espacial. Economia regional e urbana: teorias e métodos com ênfase no Brasil. In: CRUZ, Bruno et al., (Org.). **Economia Regional e Urbana: Teorias e métodos com ênfase no Brasil**. Brasília: Ipea, 2011.
- MME – Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia>>. Acesso em: 15/11/2023.
- NAHM, Jonas. Renewable futures and industrial legacies: Wind and solar sectors in China, Germany, and the United States. **Business and Politics**, v. 19, n. 1, p. 68–106, 2017.
- NORTH, Douglas. Institutions. **Journal of Economic Perspectives**, v. 5, n 1, p. 97–112, 1991.
- NELSON, Richard. ‘What Enables Rapid Economic Progress? What are the Needed Institutions?’. **Research Policy**, v. 37, n.1, p. 1-11, 2008.
- OECD – **Organisation for Economic Co-operation and Development**. Disponível em: <<https://www.oecd.org/>>. Acesso em: 23/03/2022.
- PEGELS, Anna; LÜTKENHORST, Wilfried. Is Germany's energy transition a case of successful green industrial policy? Contrasting wind and solar PV. **Energy Policy**, v. 74, p. 522–534, 2014.
- PODCAMENI, Gabriella. Elementos para uma análise da inserção da energia eólica no Brasil a partir de uma perspectiva da política industrial. **Revista Econômica**, v.16, n.2, p. 51-76, dezembro 2014.
- QUITZOW, Rainer; et al. Development trajectories in China’s wind and solar energy industries: How technology-related differences shape the dynamics of industry localization and catching up. **Journal of Cleaner Production**, v. 158, p. 122-133, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.130>
- REN21 – Renewables Now. **Renewables 2023: Global Status Report Collection, Global Overview**. REN21, 2023.
- RODRIK, Dani. Industrial policy for the twenty-first century. **Faculty Research Working Papers Series**, 2004.
- RODRIK, Dani. Green Industrial Policy. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 30, n. 3, p. 469–49, 2014.
- SCHUMPETER, Joseph. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico**. Os economistas, 1997.
- SCHOT, Johan; STEINMUELLER, Edward. Three frames for innovations policy: R&D, systems of innovation and transformative change. **Research Policy**, v. 47, n.9, p. 1554-1576, 2018.
- SERRA, Mauricio; et al. Novos rumos das políticas regionais de inovação: desenvolvimentos recentes e implicações. **Texto para Discussão**, n. 417, 2021.
- SUZIGAN, Wilson; FURTADO, João. Instituições e Políticas Industriais e Tecnológicas: Reflexões a Partir da Experiência Brasileira. **Estudos Econômicos**, v. 40, n. 1, p. 7–41, 2010.
- SUZIGAN, Wilson; FURTADO, João. Política Industrial e Desenvolvimento. **Revista de Economia Política**, v. 26, n. 2 (102), p. 163-185, 2006.

- SUZIGAN, Wilson; et al. Institutions and industrial policy in Brazil after two decades: have we built the needed institutions? **Economics of Innovation and New Technology**, 2020.
- TAGLIAPIETRA, Simone. Green industrial policy: a global perspective. **United Nations Department for Economic and Social Affairs**, 2022.
- UNEP – United Nations Environment Programme. **COP27 Ends with Announcement of Historic Loss and Damage Fund**, 2022.
- UN – UNITED NATIONS. **Technology and innovation report 2023. Opening green windows Technological opportunities for a low-carbon world**. United Nations Conference on Trade and Development, 2023.
- ZHANG, Sufang; et al. Interactions between renewable energy policy and renewable energy industrial policy: A critical analysis of China's policy approach to renewable energies. **Energy Policy**, v. 62, p. 342–353, 2013.