

Eixo 4:
Gestão socioambiental

CAPÍTULO 12

Tecnologias para o meio ambiente: definições e políticas regionais para o seu desenvolvimento

Emanuel Galdino

Tania Pereira Christopoulos

RESUMO

As tecnologias ambientais são pautadas nas metas da agenda 2030 e têm sido estimuladas e desenvolvidas de diferentes maneiras e por meio de diferentes políticas de inovação. Este capítulo apresenta uma análise sobre como governos de distintas regiões do mundo estimulam essas tecnologias. Previamente a esta análise, o trabalho traz os resultados de uma revisão sistemática que identifica definições e conceitos da literatura científica sobre tecnologias dedicadas a trazer benefícios para o meio ambiente e que se propõem a reduzir danos, minimizar a poluição e utilizar recursos naturais de maneira sustentável. O trabalho pretende suprir uma lacuna da literatura, identificando a polissemia de termos utilizados para exemplificar as tecnologias para o meio ambiente, assim como o amplo leque de possibilidades utilizado pelos países para estimular seu desenvolvimento e aplicação. A pesquisa indica que a literatura utiliza diferentes definições e terminologias para retratar esse tipo de tecnologia, por exemplo, o conceito deecoinovação, ainda em construção. Os países, mesmo que in-

cluídos em uma mesma região ou tendo patamar econômico similar, traçam estratégias distintas em relação à participação dos governos no estímulo ao desenvolvimento dessas tecnologias em seus territórios. As implicações sociais desse estudo incluem desde a conscientização sobre os resultados da implantação dessas tecnologias até a formulação de políticas públicas e as contradições inerentes.

Palavras-chave:ecoinovação; tecnologias ambientais; políticas de inovação.

ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES: DEFINITIONS AND REGIONAL POLICIES FOR THEIR DEVELOPMENT

ABSTRACT

Environmental technologies are aligned with the goals of the 2030 agenda and have been promoted and developed in various ways through different innovation policies. This work provides an analysis of how governments from different regions of the world encourage these technologies. Prior to this analysis, the work presents the results of a systematic review that identifies definitions and concepts from scientific literature concerning technologies dedicated to environmental benefits, aiming to reduce harm, minimize pollution, and utilize natural resources sustainably. The study aims to address a gap in the literature by identifying the polysemy of terms used to exemplify environmental technologies, as well as the wide range of approaches employed by countries to promote their development and application. The research indicates that the literature employs various definitions and terminologies to depict this type of technology, such as the evolving concept of eco-innovation. Even countries within the same region or with similar economic standings adopt distinct strategies regarding government involvement in stimulating the development of these technologies within their territories. The social implications of this study encompass raising awareness of the consequences of implementing these technologies, as well as informing public policy formulation and addressing inherent contradictions.

Keywords: eco-innovation; environmental technology; innovation policy.

12.1 INTRODUÇÃO

Desde a definição do conceito de desenvolvimento sustentável no relatório *Nosso Futuro Comum*, em 1987, identificou-se a necessidade do uso e desenvolvimento de tecnologias mais amigáveis ao meio ambiente (Kemenade; Teixeira, 2017). Com a definição da Agenda 2030, a temática se transformou em um dos principais objetivos estratégicos da União Europeia, em busca da transição para a economia verde (Marin; Marzucchi; Zoboli, 2015).

Na literatura, a inovação tecnológica é vista como uma importante ferramenta para resolver problemas graves de poluição e auxiliar na gestão ambiental, na redução de resíduos da indústria e na eficiência energética. Pode auxiliar a melhorar a utilização e alocação dos recursos naturais, promover a redução do uso de matéria-prima ou resultar em uma nova solução de material ou substância menos nocivos ao ecossistema (Ai; Peng; Xiong, 2021). Além do enfoque ambiental, pode ter efeitos transbordados para outros setores, contribuindo para o desempenho financeiro, para a competitividade empresarial, que tem potencial de melhorar o bem-estar social, gerando novas oportunidades de emprego. A inovação tecnológica também pode contribuir para a acumulação e difusão do conhecimento, gerados a partir das atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D), necessárias para a sua produção (Yuan; Zhang, 2020).

Essas tecnologias podem contribuir para a renovação de todo o sistema de inovação, levando em consideração também aspectos sociais e ecológicos. Plataformas como a Eco-Innovation Observatory, que une 32 países da União Europeia, têm divulgado sua importância para combater o grande desafio das mudanças climáticas em diversos setores (Hojnik; Ruzzier, 2016). Nesse contexto, o uso de combustíveis fósseis como principal fonte energética tem sido associado a problemas ambientais e às mudanças climáticas; e a transição para tecnologias, relacionadas à energia renovável é esperada tanto pelos governos, em nível local, como por toda a comunidade internacional (Pitelis, 2018).

Não obstante, o desenvolvimento e a utilização de novas tecnologias ambientais podem desencadear o denominado efeito rebote. Esse efeito ocorre, por exemplo, quando o desenvolvimento e/ou aperfeiçoamento de determinada tecnologia eleva a eficiência do uso de energia de um equipamento em um determinado percentual, mas o consumo de recursos necessários para o funcionamento desse equipamento (por exemplo, energia) diminui menos que o percentual de eficiência associado, contribuindo para que a conservação de energia ocorra em proporção menor que a inicialmente prevista (York; Adua; Clark, 2022).

As metas definidas pelo Acordo de Paris em relação às mudanças climáticas têm promovido planejamentos e reflexões acerca de quais passos serão necessários para melhorar o desempenho ambiental nos países. Atingi-las requer investimento em

pesquisa e desenvolvimento (P&D) ambiental e inovação na busca da diminuição das emissões de dióxido de carbono (CO₂) (Costa-Campi; García-Quevedo; Martínez-Ros, 2017). Os compromissos acordados de forma voluntária pelos países exigirão, portanto, desde mudanças socioculturais e formulação de políticas públicas, até transformações nos sistemas de produção, trazendo à tona o papel do setor privado (Pinsky; Kruglianskas, 2017).

Certamente, cada país tem elaborado as suas próprias estratégias para promover um desenvolvimento tecnológico que esteja orientado para a proteção do meio ambiente e para a diminuição do consumo de energias oriundas de matrizes mais poluentes, como é o caso dos combustíveis fósseis (Mazzanti, 2018; Zhou *et al.*, 2020). Alinhadas com os objetivos propostos pela agenda de Desenvolvimento Sustentável elaborada pelas Organizações das Nações Unidas (ONU), essas estratégias são interpretadas e executadas de diferentes maneiras pelos governos.

O objetivo principal deste estudo é analisar como a literatura científica vem abordando conceitos e estratégias relativos às tecnologias desenvolvidas exclusivamente para exercer alguma função benéfica ou reduzir impactos negativos sobre o meio ambiente. Dois objetivos específicos são propostos. O primeiro é esmiuçar como a literatura científica define essas tecnologias, entendendo suas taxonomia, características e aplicações. O segundo é visualizar como o processo para o desenvolvimento e aplicação pode ser estimulado pelo Estado em diferentes regiões do mundo. Para se atingirem esses objetivos, optou-se por realizar uma revisão sistemática da literatura.

Além desta breve introdução, o trabalho conta ainda com mais três seções. A metodologia adotada para a seleção dos artigos usados neste trabalho está detalhada na Seção 12.2. A Seção 12.3, dividida em duas partes, mostra o resultado das análises realizadas no processo de revisão sistemática. Por fim, apresentam-se as considerações finais.

12.2 MÉTODO: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

O planejamento da revisão sistemática foi realizado de acordo com a estrutura proposta por Okoli *et al.* (2019) e com o modelo indicado por Biolchini *et al.* (2005). A pesquisa foi realizada nas bases Web of Science, Scopus e Scielo. A busca enfocou artigos científicos revisados por pares e publicados nos idiomas inglês e português. A proposta foi selecionar apenas artigos que tivessem em seu resumo ou título palavras-chave relacionadas às variadas nomenclaturas das tecnologias ambientais e, ao mesmo tempo, tratassem de alguma política pública de estímulo ao seu desenvolvimento. As palavras-chave foram retiradas de textos seminais sobre a temática, em uma pesquisa primária realizada antes da revisão sistemática. A lista-controle de fontes foi composta por trabalhos de Corder (2008), Dias (2014), Dias (2012), Jabbour

(2010), Kuehr (2007), Lustosa (2010), Singh *et al.* (2020). A Figura 12.1 ilustra os termos em português e inglês. A parte esquerda da figura apresenta os descritores utilizados para capturar conceitos e a parte direita, os relacionados às políticas e às referidas tecnologias.

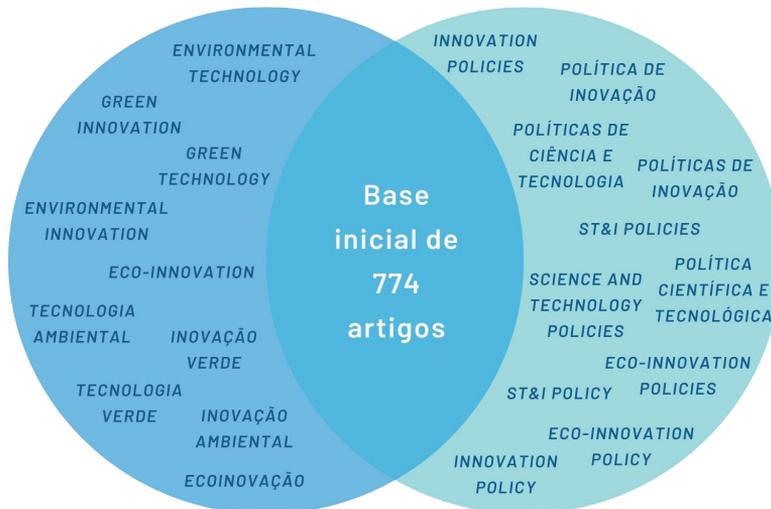


Figura 12.1 Representação dos descritores (*strings* de busca) usados na pesquisa.

A busca resultou em uma base de 774 artigos. Os resumos e títulos desses trabalhos foram submetidos a critérios de inclusão e exclusão, conforme Quadro 12.1. Foram excluídos artigos que, apesar de descreverem e/ou analisarem o desenvolvimento de tecnologias benéficas ao meio ambiente, não citavam o envolvimento do Estado de qualquer forma, seja por uma política de estímulo ou pela intervenção por meio de quaisquer instrumentos. Se o artigo apresentou, pelo menos, um critério de inclusão assinalado e nenhum critério de exclusão marcado, foi selecionado para a leitura na íntegra. Após essa leitura rigorosa, seguindo-se os mesmos critérios de avaliação, o artigo foi incluído para os objetivos dessa revisão sistemática. Ao final, 126 artigos foram selecionados.

Quadro 12.1 Critérios de seleção dos artigos

Inclusão
Analizam ou descrevem políticas públicas , elaboradas pela administração municipal, estadual ou federal que estimulam o desenvolvimento de inovações verdes em empresas de determinado local ou país , em segmentos industriais e de serviços.
Analizam o impacto de políticas de ciência, tecnologia e inovação na produção de bens, produtos e serviços benéficos ou menos nocivos ao meio ambiente.
Analizam a cooperação universidade-empresa para estimular a produção e a transferência tecnológica de inovações verdes.
Analizam a aplicação de editais de agências de fomento ou subsídios de P&D do Estado, específicos para a produção de tecnologias ambientais.
Analizam o papel de órgãos públicos como agências, institutos, ministérios, no desenvolvimento de tecnologias ambientais, seja pela inserção de uma política ou de um instrumento específico ou utilizando o seu poder de compra (compras públicas) para orientar as empresas a inovarem nessa direção.
Exclusão
Descrevem ou analisam o desenvolvimento de tecnologias benéficas ao meio ambiente, como novas fontes de energia, entre outras, mas que não retratam o papel do Estado nesta orientação ou estímulo.
Analizam o papel das inovações verdes para a melhoria do meio ambiente ou para a melhoria do negócio, mas que não enfocam o processo de estímulo ao desenvolvimento dessas tecnologias, apenas dando destaque ao consumo ou ao ganho econômico-financeiro para a empresa.
Analizam o papel da gestão empresarial, do marketing ou dos recursos humanos da empresa ou do departamento de pesquisa e desenvolvimento interno na produção de inovações verdes, sem a participação do Estado nesse processo.
Descrevem estudos de caso de empresas ou segmentos industriais específicos e seus desenvolvimentos de tecnologias ambientais, sem a participação do Estado nesse processo.
Não mencionam políticas públicas de estímulo ao desenvolvimento de inovação ambiental.
O texto completo do artigo não estava disponível em formato completo para a conta USP vinculada ao portal de periódicos Capes.

12.3 RESULTADOS

A partir do processo de revisão sistemática, as próximas seções pretendem apresentar como os trabalhos científicos têm denominado as tecnologias desenvolvidas especificamente para o benefício do meio ambiente. Além de definições e nomenclaturas, serão apresentadas aplicações da ecoinovação e sua essencialidade ao futuro de áreas estratégicas para a sobrevivência e bem-estar humano, como o tratamento de água, agricultura, indústria, construção. Em seguida, serão discutidas as estratégias regionais dos governos para o estímulo do desenvolvimento e da aplicação de tecnologias ambientais, com enfoque na discussão sobre políticas públicas e instrumentos de planejamento.

12.3.1 Tecnologias ambientais, ecoinovações ou inovações verdes

A grande maioria dos artigos analisados durante o processo de revisão sistemática utiliza apenas o termo ecoinovação para se referir a soluções tecnológicas com foco no meio ambiente, apesar de as palavras-chave tecnologia ambiental, inovação verde, tecnologia verde e inovação ambiental terem sido utilizadas na busca. Esses

resultados corroboram com os achados de Hroncová Vicianová *et al.*, (2017) e Yi *et al.*, (2020), que verificaram muitos autores tratando inovação verde, inovação ecológica, inovação ambiental,ecoinovação, tecnologia verde e tecnologia ambiental como sinônimos. A diversidade terminológica ainda inclui tecnologias mais limpas, tecnologias ambientalmente amigáveis, tecnologias ecologicamente adaptadas, tecnologias ambientalmente seguras, tecnologias ecoeficientes e tecnologias ambientalmente sustentáveis. Na prática, este trabalho adotará como sinônimo as expressões ecoinovação, inovação verde, inovação ambiental, tecnologia ambiental e tecnologia verde, conforme justificado nos próximos parágrafos.

Segundo Gente e Pattanaro (2019), o termo “ecoinovação” acompanhou a evolução das outras terminologias¹ relacionadas à tecnologia e ao ambiente, incorporando à inovação aspectos ligados à economia, ao padrão de consumo, às consequências das mudanças climáticas e à conscientização em relação aos riscos à saúde gerados pela poluição e ao não tratamento de resíduos. Nos Estados Unidos, por exemplo, as terminologias *tecnologia limpa* e *inovação ambiental* vêm sendo mais usadas por instituições e governos. Por outro lado, *inovação ecológica*, *inovação verde* e *inovação ambiental* são mais utilizadas em trabalhos científicos (Gente; Pattanaro, 2019).

Dentro da mostra de artigos selecionados na revisão sistemática, os autores que optaram por utilizar os termos *tecnologia ambiental* e *tecnologia verde* não propuseram nenhuma definição para essas expressões. Os poucos acadêmicos que apresentaram definições para as outras terminologias se basearam no conceito de inovação de Schumpeter e no detalhamento dado a ela pelo Manual de Oslo, da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), como a introdução de produto, serviço ou processo novo ou melhorado.

A inovação verde foi definida por Wu *et al.* (2021) como aquela inovação que envolve o comportamento para produzir, adotar e desenvolver novos produtos, processos de produção, serviços, abordagens de gestão ou métodos de negócios. Esse comportamento pode efetivamente reduzir riscos ambientais e outros impac-

1 O Relatório Brundtland utiliza os termos *tecnologias alternativas* e *tecnologias mais adequadas ao meio ambiente* (Brundtland, 1987). Inclusive, a própria ONU chegou a definir o termo no documento gerado durante a conferência Rio-92 – a Agenda 21 – como tecnologias que poluem menos, atuam em proteção ao meio ambiente, utilizam os recursos naturais de forma mais sustentável e destinam melhor os seus resíduos em comparação às tecnologias empregadas anteriormente ao seu desenvolvimento (ONU, 1992). No entanto, organizações como a Measuring Eco-Innovation, que adotam o termo ecoinovação, afirmam que a expressão *tecnologias ambientais* tem uma interpretação muito mais restrita por estar vinculada à indústria de bens e serviços ambientais, que são aquelas empresas que se dedicam à produção de produtos para medir, prevenir, limitar, minimizar ou corrigir danos ambientais para água, ar e solo, assim como para solucionar problemas relacionados a resíduos, ruídos e ecossistemas (Kemp; Pearson, 2007).

tos negativos no processo de poluição e uso de recursos em todo o ciclo de vida do produto. A inovação verde pode ser categorizada como inovação de processo verde, inovação de produtos verdes e tecnologia de tratamento de fim de tubo (*end-of-pipe*). A inovação de processo verde se refere a um modo de inovação em que as empresas melhoram os processos de produção existentes ou desenvolvem novos processos para reduzir o impacto negativo no meio ambiente enquanto criam benefícios econômicos.

A terminologia inovação ambiental complementa o conceito anterior, enfatizando a redução de efeitos adversos ao meio ambiente. A inovação ambiental seria, então, o conjunto de medidas tomadas por diferentes atores para desenvolver novos produtos e processos aplicados à diminuição da carga ambiental e para atingir a meta do desenvolvimento sustentável. A proposta e o enfoque da inovação ambiental é depender cada vez menos de matéria-prima e de fontes de energia convencionais. Em outras palavras, é um produto, processo, serviço ou método de gestão que resulta, ao longo do seu ciclo de vida, na redução do risco ambiental, poluição e outros impactos (Loučanová; Nosálová, 2020). É um tipo de inovação que pode não apenas trazer benefícios para consumidores e empresas, dinamizando a economia, mas também interferir na diminuição dos efeitos adversos sobre o meio ambiente. (Liao *et al.*, 2018).

Os trabalhos que usam a expressão ecoinovação, em sua ampla maioria, enunciam as características desse tipo de inovação por meio de duas definições eurocêntricas: a realizada pela Measuring Eco-Innovation (MEI) e a elaborada pelo The Eco-Innovation Observatory.² Pesquisadores como Hroncová Vicianová *et al.* (2017), Jang *et al.* (2015) e Bitat (2018) ousaram propor uma definição para o conceito de ecoinovação, mas também baseadas em definições prévias; neste caso, em definições divulgadas nos documentos da OCDE. De acordo com Hroncová Vicianová *et al.* (2017), as ecoinovações são novos produtos e processos que possam reduzir os impactos ambientais (riscos e poluição) em todo o seu ciclo de vida ou possam ser mais eficientes e responsáveis em relação ao uso dos recursos naturais, como a energia. Já Jang *et al.* (2015) consideram que as inovações, além de reduzirem o impacto ambiental e otimizarem o uso de recursos naturais, também fortalecem a resiliência em relação às pressões ambientais.

2 A Measuring Eco-Innovation (MEI) define ecoinovação como produção, assimilação ou exploração de um produto, processo, serviço ou gestão ou método de negócios que é novo para a organização (desenvolvimento ou adoção) e que resulta, ao longo de seu ciclo de vida, na redução de risco ambiental, poluição e outros impactos negativos do uso de recursos (incluindo o uso de energia) em comparação com alternativas relevantes (Kemp; Pearson, 2007). A definição do The Eco-Innovation Observatory consegue ser ainda mais simples, sem retirar toda a complexidade do conceito. Segundo o observatório, ecoinovação é qualquer inovação que reduza o uso de recursos naturais e diminua a liberação de substâncias nocivas ao longo de todo o seu ciclo de vida (Eio, 2010).

Tanto Hroncová Vicianová *et al.* (2017) como Bitat (2018) complementam a conceituação e incorporam um elemento de casualidade não intencional ou falta de compromisso ambiental na abordagem sobre o desenvolvimento das ecoinovações. Por exemplo, existem ecoinovações que foram desenvolvidas especificamente para propósitos ambientais, e outras cujo benefício para o meio ambiente ocorre, mas como um efeito colateral, que não foi planejado (Hroncová Vicianová *et al.*, 2017). Mesmo não sendo pensadas para minimizar o impacto ambiental, essas inovações também podem ser consideradas ecoinovações (Horbach, 2016). Em muitos casos, a decisão de ecoinnovar é econômica, e não um compromisso ambiental (Bitat, 2018).

Alguns autores ainda propõem classificações do termo. Por exemplo, Chen *et al.* (2017) apresentam o conceito de ecoinovação regional como uma rede de sistemas e organizações que visa a gerar uma coordenação significativa entre ecologia, benefícios econômicos, sociais e tecnológicos que satisfazem as necessidades ambientais e de recursos para um modelo de desenvolvimento. Essa rede trabalha por meio da criação, transferência, atualização, transformação do mercado, conhecimento, tecnologias e processos em sistemas de produção. A ecoinovação regional desempenha um papel importante na redução do uso e velocidade de consumo de recursos, controlando a escala e a intensidade de emissões de poluentes e melhorando a qualidade e eficiência do desenvolvimento econômico regional (Chen *et al.*, 2017).

Já Dewick *et al.* (2019) trazem para a discussão as chamadas ecoinovações regenerativas.³³ Essas ecoinovações são importantes ferramentas para enfrentar os desafios impostos pelo desenvolvimento sustentável, já que vão além daquelas tecnologias que simplesmente atendem aos requisitos mínimos em relação aos impactos ambientais ou maximizam a ecoeficiência. Elas restauram, renovam e revitalizam os sistemas naturais (Dewick *et al.*, 2019).

12.3.1.1 Em busca de uma taxonomia

Diferentes taxonomias são apresentadas nos artigos selecionados na revisão sistemática. As mais comuns, que estão presentes em um número maior de trabalhos, dividem as tecnologias ambientais em duas categorias. Geralmente, essa taxonomia está relacionada com o uso ou a aplicação da tecnologia.

3 Outras tipologias possíveis separam as ecoinovações em exploradoras ou degenerativas, restaurativas, cíclicas e regenerativas. As exploradoras e degenerativas são projetadas para atender aos requisitos mínimos. As restaurativas maximizam a ecoeficiência. As cíclicas consideram a conexão entre os humanos e suas estruturas sociais e culturais como parte do ecossistema. As regenerativas criam valor para os seres humanos e a natureza (Dewick *et al.*, 2019).

O tipo de tecnologia mais presente nos estudos relacionados à inovação e ao meio ambiente é a chamada *end-of-pipe*⁴ (de “fim de tubo” ou “fim de chaminé”) ou de controle da poluição ou despoluidoras. Essas soluções tecnológicas tratam geralmente da questão do resíduo e da poluição, são incorporadas em processos de manufatura já existentes no final do estágio e não são parte essencial do processo de produção (Demirel; Kesidou, 2011). Elas tendem a não alterar o processo de produção e a ser mais incrementais,⁵ melhorando marginalmente o desempenho ambiental a partir da introdução de componentes (Dewick *et al.* 2019).

O segundo tipo⁶ mais presente nos artigos são as tecnologias de produção mais limpa, que incluem a proteção ao meio ambiente como parte integrante dos processos de fabricação. Trata-se de aparatos de produção novos ou modificados, mais eficientes do que as tecnologias previamente desenvolvidas. Contribuem para a redução da poluição, reduzindo a matéria-prima (e insumos utilizados) e recursos naturais ou substituindo-os por alternativas mais amigáveis ao meio ambiente. A proposta é que sejam desenvolvidas como uma parte integral do processo de produção, com foco na prevenção da poluição e antecipando possíveis impactos (Demirel; Kesidou, 2011; Hojnik; Ruzzier, 2016). As tecnologias de produção mais limpas exigem mudanças na arquitetura da produção e, portanto, são mais radicais (Dewick *et al.*, 2019).

Alguns trabalhos adotam o termo *ecoinovações* para essas tecnologias, dividindo-as de acordo com seu objetivo: as destinadas à redução da poluição, à reciclagem, à economia de energia e, finalmente, à redução do uso de materiais (Caravella; Crespi,

4 As tecnologias *end-of-pipe*, também conhecidas como *cleansing technologies*, são desenvolvidas para atenuar danos já causados por outras tecnologias ou outros padrões, neutralizando o efeito nocivo do uso de determinado produto, mas sem mudar o padrão causador da poluição. Um exemplo desse tipo de tecnologia são os conversores catalíticos para redução de gases nocivos dos escapamentos dos motores de combustão (Kuehr, 2007; Lustosa, 2010).

5 Segundo o Manual de Oslo (OECD, 2018) a inovação incremental, a mais comum, dá continuidade ao processo de mudança, ou seja, trata-se de uma melhoria em um produto ou processo já existente no mercado. A inovação radical ou disruptiva, por outro lado, gera rupturas mais intensas, podendo inserir no mercado produtos totalmente novos e que podem estar dentro de um paradigma tecnológico ainda não apresentado para a sociedade. Nas palavras de Freeman e Soete (2008), (...) “enquanto as inovações incrementais não suscitam grandes problemas de ajustamento estrutural, a introdução de um sistema tecnológico radicalmente novo dá origem a muitos desses problemas” (p. 566).

6 Kuehr (2007) apresenta uma outra tipologia para as tecnologias ambientais: as *measuring technologies*, ou tecnologias de controle ou de mensuração ambiental. Elas visam a compreender, analisar e conter os impactos causados pelo homem na natureza, como a degradação de recursos, desmatamento, queimadas e emissões de gases nocivos. São basicamente instrumentos e ferramentas usadas para a medição e o monitoramento do meio ambiente. A proposta para o seu uso é fornecer dados e informações para possíveis tomadas de decisões.

2020). Ou, então, incorporando os tipos de tecnologia citados com enfoque na redução de dióxido de carbono (Castellacci; Lie, 2017).

As definições deecoinovação disponíveis na literatura são, no entanto, simplistas e não cumprem o papel de descrever os diferentes tipos existentes (Kiefer *et al.* 2019). Mais do que isso, não são descritas para dar embasamento aos formadores de políticas públicas sobre como estimular seu desenvolvimento de acordo com o tipo/tamanho e setor da empresa. Kiefer *et al.* propõem uma taxonomia para a classificação daecoinovação em cinco diferentes tipos. O foco dessa taxonomia repousa sobre os impulsionadores (*drives*) ou tipos de instrumentos mais bem empregados para o desenvolvimento daecoinovação (Quadro 12.2).

Quadro 12.2 Classificação deecoinovações a partir dos instrumentos para o seu desenvolvimento

Tipo de tecnologia	Definição	Impulsionadores
<i>Systemic eco-innovations</i> (ecoinovações sistêmicas)	Representam uma ruptura em relação a processos e negócios de padrões anteriores, buscando a melhoria ambiental.	Geralmente, surgem pela indução pelo mercado (<i>demand-pull</i>), embora os instrumentos de impulso pela tecnologia (<i>technology-push</i>) também sejam utilizados. Envolem interações intensivas com clientes e intermediários durante o seu desenvolvimento ou adoção, além de cooperação científica e relação com os concorrentes.
<i>Externally driven eco-innovations</i> (com acionadores/impulsionadores externos)	Produzidas no contexto da interação com os instrumentos de regulação e as organizações não governamentais (ONG) de proteção ao meio ambiente.	São desenvolvidas a partir da reação de pressões externas e demandas ambientais da sociedade.
<i>Continuous improvement</i> (melhoria contínua)	Surgem como inovações convencionais, não são particularmente novas e não levam a reduções substanciais nos impactos ambientais.	Geralmente, são produzidas em empresas em que não há compromisso explícito com questões ambientais.
<i>Radical and technology-push initiated eco-innovations</i> (ecoinovações radicais e impulsionadas pela tecnologia).	Caracterizadas pela redução substancial dos níveis de impacto ambiental, geram inovações tecnológicas disruptivas e mudanças radicais nas bases do negócio.	São impulsionadas pela oferta (<i>supply-push</i>). A cooperação externa nesse caso é restrita às universidades e aos institutos de pesquisa e o conhecimento científico é de suma importância para o seu desenvolvimento.
<i>Eco-efficient eco-innovations</i> (ecoinovações ecoeficientes)	Têm foco na economia de insumos e na eficiência interna da empresa. Na literatura, geralmente a ecoeficiência trata da economia de recursos naturais (energia, água e matéria-prima) por unidade de produção.	Essas inovações não são motivadas por preocupações com a sustentabilidade, e, sim, pela competitividade. Elas se beneficiam da cooperação entre os competidores pelo mercado.

Fonte: adaptado de Kiefer, Carrillo-Hermosilla e Del Río (2019).

Outras taxonomias são elaboradas levando-se em consideração fatores como o grau de maturidade ou o estado da arte científico e da técnica atuais para o desenvolvimento de determinada solução tecnológica. Esse é caso do trabalho de Del Río *et al.* (2010). Segundo esses autores, as tecnologias podem ser classificadas em imaturas quando estão em estágio pré-comercial e requerem melhorias tecnológicas, redução de custos e investimentos em P&D. Por outro lado, as tecnologias podem ser consi-

deradas maduras quando têm um escopo menor para melhorias técnicas adicionais. Os mesmos pesquisadores apresentam uma nova taxonomia para as ecoinovações, desta vez, olhando para o papel e impacto ao sistema que essas inovações vão gerar. Com esse enfoque, sugerem: (i) as ecoinovações de adição de componentes, quando são desenvolvidos componentes adicionais para minimizar e reparar impactos negativos sem a necessidade de mudar o padrão, sistema ou o processo que gerou aquele impacto. Esse é o caso das tecnologias de fim de tubo; e (ii) as de mudança do subsistema, que se referem a soluções ecoeficientes (*de eco-efficient*) e à otimização dos subsistemas, conduzindo-os a reduzir os impactos negativos ao meio ambiente.⁷

12.3.1.2 Aplicações

Entidades como a OCDE (no documento *Thematic areas of the environmental technologies*) e a World Intellectual Property Organization (Wipo), por meio do IPC Green Inventory (código específicos para patentes verdes), propuseram-se a criar classificações para essas tecnologias ambientais de acordo com sua aplicação (Durán-Romero *et al.*, 2020). É possível destacar aqui cinco grandes áreas temáticas: geração e conservação de energias alternativas, transporte sustentável, gestão de resíduos, tratamento de água e florestamento e agricultura.

A categoria de geração e conservação de energias alternativas está relacionada com tecnologias de produção de energia de fontes renováveis e de combustíveis de origem não fóssil, soluções que visam a mitigar as mudanças climáticas. Entre essas tecnologias, é possível destacar as hidrelétricas, energias geotérmicas, solar, eólica e os biocombustíveis, como bioetanol, biodiesel e biogás (Durán-Romero *et al.*, 2020). Embora várias tecnologias tenham sido desenvolvidas para a produção de energia renovável, incluindo solar, eólica, hídrica e biomassa, essas soluções permanecem instáveis e não são perfeitas. Isso significa que muitas oportunidades ainda podem ser exploradas pelas empresas (Costa-Campi; García-Quevedo; Martínez-Ros, 2017).

A energia eólica é, normalmente, considerada como a de maior potencial futuro entre as tecnologias de energia renovável (Schleich; Walz; Ragwitz, 2017). Apesar de

7 “O conceito de ecoeficiência permite associar o fator progresso tecnológico ao grau de utilização de recursos naturais (produzir mais, com menos recursos) e está também relacionado à redução das emissões de resíduos por unidade de produção (produzir mais, com menos poluição)” (Bursztyn; Bursztyn, 2012, p. 285). “O conceito de ecoeficácia oferece uma alternativa positiva às abordagens tradicionais de ecoeficiência para o desenvolvimento de produtos e sistemas ambientalmente saudáveis. As estratégias de ecoeficiência se concentram em manter ou aumentar o valor da produção econômica enquanto, simultaneamente, diminuem o impacto da atividade econômica sobre os sistemas ecológicos. A emissão zero, como a extensão final da ecoeficiência, visa a fornecer o máximo valor econômico com zero impacto ecológico adverso – uma verdadeira dissociação da relação entre economia e ecologia” (Braun-gart; McDonough; Bollinger, 2007, p. 1337, tradução nossa).

já existir uma série de patentes relacionadas a esse tipo de tecnologia, esse é um setor que ainda carece de investimentos em P&D e do desenvolvimento científico para avançar no seu estado da arte. A necessidade de uma infraestrutura específica e de inovações na conexão entre as redes de distribuição também trazem mais desafios para alavancar o potencial desse tipo de tecnologia (Wang; Zou, 2018).

As tecnologias de energia solar utilizam o efeito fotoelétrico, como no caso das células fotovoltaicas, ou convertem a radiação solar em calor, como no uso doméstico para o aquecimento de água. Em muitas regiões, a energia solar fotovoltaica atende apenas a pequenos nichos de consumo, como aplicações residenciais e rurais (fora da rede de distribuição de energia elétrica). Essas tecnologias requerem uma cadeia mais ampla de fontes de inovação para serem desenvolvidas, sendo necessário estimular a interface entre os seus produtores e usuários (Taylor, 2008)

O desenvolvimento de biocombustíveis também é tema recorrente nos artigos selecionados na revisão sistemática. Os biocombustíveis provaram ser uma das formas mais bem-sucedidas de descarbonização do setor de transporte (Ebadian *et al.*, 2020). A principal vantagem de sua utilização é não requerer mudança tecnológica muito significativa nos veículos, pois podem ser misturados aos combustíveis fósseis e usados em motores de combustão interna. No entanto, apresentam controvérsias, havendo debates sobre a necessidade de redução de carbono durante seu ciclo de vida. Nesse sentido, uma segunda geração de biocombustíveis será necessária para satisfazer tanto o desempenho ambiental como o econômico, envolvendo uma série de desafios tecnológicos (Köhler; Walz; Marscheider-Weidemann, 2014).

Em relação ao desenvolvimento de um sistema de transporte mais sustentável, muito se fala na eletrificação da frota de veículos sem que se excluam os avanços tecnológicos e as novas soluções para o próprio sistema público de transporte coletivo. Os *plug-in electric vehicles* (PEV, ou veículos elétricos) incluem veículos movidos a bateria ou veículos híbridos. Exigem mudanças tecnológicas e de sistemas significativas em relação a um veículo com motor de combustão interna. Os PEV também são um importante meio de redução da poluição atmosférica local e, dependendo da forma como a eletricidade é gerada, constituem uma solução importante para reduzir a emissão de gases de efeito estufa. Os PEV podem tanto substituir parte da demanda por carros convencionais como podem estimular o desenvolvimento de toda uma nova indústria de componentes (Wesseling, 2016).⁸

8 É importante destacar a importância de não se ignorar o efeito rebote da tecnologia ou o paradoxo de Jevon sobre os efeitos nocivos de produtos e processo, mesmo classificados como mais sustentáveis, no médio e longo prazo (York *et al.*, 2022.).

O tratamento de água representa um importante desafio tecnológico para o desenvolvimento de futuras inovações, como soluções de gestão do nitrogênio e do fósforo, e para a redução da eutrofização (Häggmark; Elofsson, 2021). Como a água é um recurso essencial e escasso em muitas regiões, tecnologias para o tratamento de efluentes e de separação de substâncias biodegradáveis serão fundamentais para a melhoria da eficiência hídrica. Essa categoria deecoinovação, no entanto, não deve ser desassociada das tecnologias para gestão de resíduos, seja para a sua recuperação e reciclagem, seja para o seu uso como recursos para o processo de produção ou geração de energia (Durán-Romero *et al.*, 2020).

12.3.2 Estratégias regionais

Os países podem definir prioridades diferentes, de acordo com suas estruturas e dificuldades, o que pode levar algumas regiões a se manterem aprisionadas (*lock-in*) no uso de tecnologias poluidoras. Assim, diferenças de trajetória tornam ainda mais difícil mudar o sistema de inovação de um país na direção de tecnologias amigáveis ao meio ambiente. Os principais fatores para esse aprisionamento (*lock-in*) são relacionados ao custo, à capacidade tecnológica para o desenvolvimento dessas tecnologias e aos *stakeholders* envolvidos no processo. Devido a esses altos custos de transição, mudar o paradigma⁹ atual pode ser mais fácil para os países ricos, que também já contam com uma infraestrutura consolidada para a produção de novos conhecimentos e que promovem a conscientização ambiental há muito mais tempo que países em desenvolvimento (Horbach, 2016). A maior capacidade de romper paradigmas contribui, assim, para que tecnologias ambientais sejam desenvolvidas nos países industrializados e, depois, transferidas para os países em desenvolvimento, que, por sua vez, fazem a adaptação necessária para adequar o produto de acordo com seu mercado local (Hamhami; Amrani; Smahi, 2020).

⁹ O paradigma tecnológico é um conceito derivado do paradigma científico de Thomas Kuhn. Segundo Dosi (1988), o paradigma tecnológico é um padrão que orienta as oportunidades tecnológicas para as novas inovações, canalizando os esforços tecnológicos em certas direções e, de certa forma, negligenciando a difusão tecnológica de inovações que estão fora do paradigma vigente ou em um modelo alternativo. O *lock-in* representa o aprisionamento desse padrão, tornando muito custosa a troca do paradigma tecnológico, à medida que se investe cada vez mais no paradigma vigente (Freeman; Soete, 2008). Alguns autores vão explicar esse fenômeno a partir da abordagem do *path dependence* (ou dependência da trajetória), que entende a posição atual do desenvolvimento tecnológico como algo herdado da sua trajetória e que leva em consideração uma perspectiva histórica e a reprodução, ao longo do tempo, de escolhas, ações e características (Ruttan, 1997). Foray e Grübler (1996) indicam que o meio ambiente pode ser um fator de indução da mudança tecnológica, acelerando essa transição em direção a novas tecnologias, apesar da inércia institucional causada pelo *path dependence* e pelo efeito *lock-in*.

A abordagem evolucionária entende a mudança tecnológica como dependente da trajetória (*path dependence*) e resultado da interação entre fatores da oferta, da demanda e da interação dos grupos sociais. Uma visão mais sistêmica da inovação dá atenção à conexão entre diferentes instituições e a transferência de conhecimento. A abordagem dos Sistemas Nacionais de Inovação, por exemplo, reconhece a influência das políticas para as atividades de inovação (Del; Carrillo-Hermosilla; Könnölä, 2010). O efeito da *path dependence* torna as empresas – especialmente as empresas poluidoras – dependentes e aprisionadas a um padrão tecnológico mais nocivo ao meio ambiente, pouco dispostas a adotar ou inovar seguindo um padrão alternativo (Ai; Peng Río; Xiong, 2021). Dessa forma, a intervenção do governo é necessária para os países abandonarem a dependência da trajetória vigente e se direcionarem para o desenvolvimento de um novo padrão tecnológico (Veugelers, 2012).

Por exemplo, Cooke (2011) investigou como regiões que estão em transição de energias baseadas em combustíveis fósseis para um regime de zero emissões têm se comportado ao adotarem políticas públicas e realizarem a gestão ambiental. O estudo que envolveu o estado da Califórnia (Estados Unidos), o Reino Unido, a Dinamarca, a China, a Suécia e a Coreia do Sul chegou à conclusão de que há grandes variações de como os governos enfrentam o desafio das mudanças climáticas em relação ao estímulo para a produção de tecnologias em energias renováveis. Isso porque cada região possui características e dinâmicas de mercado diferentes. Algumas dessas características estão detalhadas nas próximas seções.

12.3.2.1 Europa

Na Europa, diversas iniciativas buscam promover o desenvolvimento de tecnologias mais limpas na região, como a Environmental Technology Action Plan (Etap) e a Accelerating Eco-Innovation Policies (Ecopol), que revelam atuação estruturada dos governos, tanto para promover e disseminar essas inovações em nível nacional como para criar políticas e instrumentos para estimular a sua produção (Jang *et al.*, 2015).

A atuação de cada país do bloco, em relação às ecoinovações, é medida pelo Eco-Innovation Index, que mostra o desempenho dos diferentes Estados europeus e apresenta seus pontos fracos e fortes, e as oportunidades. Ao todo, são dezesseis indicadores analisados e agrupados em cinco áreas temáticas: capacidadeecoinovativa (*input*), atividadesecoinovativas, produção (*output*), eficiência de recursos e resultados socioeconômicos. Por exemplo, para a capacidade inovativa, um dos indicadores é o investimento governamental em P&D sobre meio ambiente e energia (Loučanová; Nosálová, 2020).

As políticas energéticas na Europa estão sendo discutidas como questão de segurança nacional. Surge, nesse âmbito, motivação relevante para considerar a política de

energia como uma necessária política pública de inovação. Uma característica importante das políticas deecoinovação europeias é que elas, muitas vezes, nascem como políticas de nível regional, inclusive com experimentações próprias de instrumentos específicos. Quando essa política é realmente experimentada, com aprendizados e bons resultados, ela pode ganhar relevância nacional e até continental (Graf, 2015).

Muitos artigos selecionados no processo de revisão sistemática apresentam estudos de caso em relação a um país ou região específica e sua interação com a ecoinovação. No caso da Europa, além da análise de todo o bloco, países como Alemanha, Croácia, Eslováquia, Eslovênia e Espanha, e regiões como a do Reino Unido, Países Bálticos e Leste Europeu são minuciosamente analisados.

No continente europeu, estudos sobre os determinantes da ecoinovação nos países em transição econômica, como Croácia, Eslováquia, Eslovênia, Estônia, Hungria, Letônia, Lituânia e Romênia, já apontaram que esses países possuem alguns obstáculos para implementarem uma agenda ambiental nas inovações. Apesar de apresentarem vantagens competitivas como o baixo custo da mão de obra, os obstáculos se revelam nas políticas ambientais e/ou industriais deficientes e na falta de conscientização sobre as ecoinovações (Božić; Botrić, 2017).

Na Eslováquia, por exemplo, a ecoinovação é fomentada pela Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável, que, por sua vez, está diretamente relacionada com as prioridades da União Europeia, ONU e OCDE. A estratégia trata do crescimento econômico do País, mas enfocando o longo prazo, ao considerar as necessidades sociais e a conservação ambiental (preservação da biodiversidade, a resiliência dos ecossistemas, redução do uso de recursos naturais etc.). A Eslováquia aparece abaixo da média no Eco-Innovation Index, comparada a outros países europeus. Para melhorar esse índice, o país precisaria investir, no curto prazo, nas exportações de produtos de ecoindústrias, em P&D ambiental e na pesquisa energética (Loučanová; Nosálová, 2020).

12.3.2.2 Ásia

Após a Rio-92, muitos países asiáticos buscaram promover agendas sustentáveis em seus territórios. Os planos nacionais contam com estratégias para promover o desenvolvimento deecoinovações, principalmente por meio de compras públicas, leis e financiamento, investimentos em P&D, incentivo fiscal e subsídios, mas também se preocupam com ações para o descarte e reuso de resíduos, o controle de poluições, a produção de energias mais limpas e renováveis e a mitigação e adaptação às mudanças climáticas (Jang *et al.*, 2015).

A China iniciou o investimento público em P&D para ecoinovação ainda na década de 1980 (Lee; Shin; Lee, 2020). Atualmente, o governo atribui cada vez mais

importância na adoção de uma política ambiental flexível para alcançar equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a proteção ambiental (Yuan; Zhang, 2020). Assim como na Europa, o país também vem adotando estratégias deecoinovação mais regionais, devido às suas proporções territoriais e características de cada localidade (Chen; Cheng; Dai, 2017).

A Indonésia, a Tailândia e a Índia têm uma combinação favorável e alto potencial tecnológico para a produção de biocombustíveis que sejam internacionalmente competitivos. A Indonésia é um dos grandes produtores de biodiesel, com forte incentivo do governo. A Tailândia tem explorado uma série de subsídios para o desenvolvimento de bioetanol (Köhler; Walz; Marscheider-Weidemann, 2014). A Índia também vem desenvolvendo inovações nas tecnologias solares mais maduras (já presentes em outros mercados), com apoio significativo do governo (Samant; Thakur-Wernz; Hatfield, 2020).

12.3.2.3 Estados Unidos

Os Estados Unidos são líderes na produção de biocombustíveis e no desenvolvimento tecnológico desse tipo de produto (Köhler; Walz; Marscheider-Weidemann, 2014). Além disso, investem ativamente dinheiro público para promover P&D no setor de energia renovável (Lee; Shin; Lee, 2020). O Estado da Califórnia é comprovadamente um dos pioneiros em promoverem a sustentabilidade por meio do avanço tecnológico. Ainda na década de 1990, implementou o programa California's Zero-Emission Vehicle, que obrigava os fabricantes de carros a incluírem uma porcentagem de veículos de emissão zero em seu portfólio (Sierzchula; Nemet, 2015). O Estado também tem apostado e investido em tecnologias para a energia solar. Desde 1974, instituiu uma série de políticas para dar apoio ao setor (Taylor, 2008).

Os Estados Unidos também têm um histórico relevante quanto ao estímulo do desenvolvimento e aplicação deecoinovações a partir da contratação pública. Nesse tipo de instrumento, o governo utiliza seu poder de compra para fornecer à sociedade produtos e serviços que estejam em uma agenda verde. Para isso, exige que seus fornecedores adequem os projetos para suprir essa demanda (Ghissetti, 2017).

12.3.2.4 América Latina

A América Latina vem encontrando soluções para alinhar o desenvolvimento econômico com a sustentabilidade. Segundo Graf (2015), nos países latino-americanos e naqueles em processo de desenvolvimento, as políticas que incentivam a inovação em relação às energias renováveis devem considerar o desafio tecnológico e socioeconômico dessas regiões. A inovação para esses países tende a ser mais incremental que radical, ou muitas vezes são tecnologias oriundas de fora do país (Graf, 2015).

Na América Latina, as hidrelétricas são as maiores fontes de energia. O petróleo está em declínio, e o gás natural, em crescimento. Apesar de a região apresentar a menor pegada de carbono entre todas, nem todos os países fazem o mesmo esforço em relação à mitigação das mudanças climáticas. O México, por exemplo, tem mostrado interesse em relação às energias renováveis, inclusive com uma lei específica assinada em 2008. O país é o maior fornecedor de módulos solares fotovoltaicos, com uma produção anual acima de 276 MW. O plano de inovação da Argentina em relação àecoinovação tem foco na competitividade e na criação de empregos. Sobre as energias renováveis, o plano cita a necessidade do desenvolvimento de infraestrutura (Graf, 2015).

O Brasil é líder em energia renovável na América Latina. Em 1970, a demanda era suprida principalmente por petróleo e carvão. Desde então, a energia hidrelétrica ganhou força e, hoje, divide o espaço com a biomassa (etanol). O plano de inovação brasileiro tem feito uma clara relação entre economia verde e mudanças climáticas, com atenção às energias renováveis (Graf, 2015).

O Brasil é também um grande exemplo no uso de biocombustíveis, com larga adoção em carros, e na ecoinovação de biocombustíveis de segunda geração. O uso do etanol para transporte é aplicado desde 1925, intensificando-se como resposta à Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opec), em 1973, com o aumento do preço do petróleo. O governo subsidiou o etanol e deu incentivos para o desenvolvimento do biodiesel (Köhler; Walz; Marscheider-Weidemann, 2014). Esse processo levou o Brasil a explorar outras fontes de energia renovável, como a geração de energia hidrelétrica; e períodos de seca mais recentes contribuíram para a exploração de recursos existentes, na ampliação da energia eólica e na segunda geração de biocombustíveis (Samant; Thakur-Wernz; Hatfield, 2020). Apesar de os países recém-industrializados não serem líderes em ecoinovação, o Brasil pode ser avaliado como relativamente forte no desenvolvimento de tecnologias ambientais (Köhler; Walz; Marscheider-Weidemann, 2014).

12.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da revisão sistemática, foi possível destacar que as pesquisas científicas têm explorado o conceito de ecoinovação e suas variações como um tópico em fase de construção. Essa afirmação se justifica porque, apesar da grande maioria dos pesquisadores utilizar definições já certificadas ou apoiadas por organismos internacionais, alguns ainda propõem criticamente suas próprias definições, mesmo que baseadas em outros conceitos.

A urgência das nações em investirem no desenvolvimento de tecnologias ambientais tem motivado organizações mundiais, como a OCDE e a Wipo, a dedicarem

esforços na proposição de classificações e geração de dados sobreecoinovações. Esse esforço é visível nas pesquisas científicas da área, que, muitas vezes, recorrem às informações difundidas por esses órgãos.

Sobre as estratégias traçadas pelos governos das diversas regiões, a Europa se destaca pela criação de uma série de programas dedicados ao desenvolvimento e à análise deecoinovações. O modelo do Eco-Innovation Index avalia o desempenho de cada país do bloco, utilizando indicadores desenhados especificamente para a proposta de um novo paradigma e pensando em minimizar os efeitos das mudanças climáticas. Esse esforço de geração e compilação de dados sistematizados também é explorado pela literatura científica dos pesquisadores que estudam a região.

Apesar de ser um bloco consolidado, é possível enxergar diferentes atuações em relação àecoinovação na Europa. Fica nítido que os países mais ricos do bloco têm uma visão mais determinada e ativa sobre a necessidade de desenvolver tecnologias que consideram benéficas ao meio ambiente. Por outro lado, os países emergentes dessa região têm recebido destaque da pesquisa científica justamente para que seja elaborada uma melhor compreensão sobre como os países com menos recursos traçam seus objetivos em relação à mudança tecnológica.

Tanto a Ásia como o continente americano concentram seus esforços na produção de biocombustíveis e na geração de energias renováveis, com cada país trabalhando isoladamente e estrategicamente em seu território. É preciso destacar a escassez de trabalhos que analisem o caso brasileiro em relação a diversos tipos de energia de forma ampla e integrada, já que os artigos acabam dando ênfase ao *case* do Brasil a respeito do etanol. Na extremidade oposta em relação ao número de trabalhos publicados, a China é a que mais tem produzido pesquisas relacionando políticas públicas e o desenvolvimento deecoinovações.

Este capítulo trouxe uma revisão sistemática da literatura, com foco naecoinovação, termos relacionados e políticas de inovação. Nesse sentido, outra sugestão para estudos futuros é que elaborem a revisão sistemática da literatura, explorando outros termos que se relacionem a tecnologias que sustentam e caracterizam as tecnologias ambientais, como *design of environment*, *design for recycling*, *design for remanufacturing*, *biomimicry* e conceitos e abordagens mais gerais que também permitam desenvolverecoinovação: *cradle to cradle*, *industrial symbiosis*, *green chemistry*, *cleaner production*, *pollution prevention* etc.

Estudos futuros poderão, ainda, abordar de forma crítica como as pesquisas sobre políticas de inovação e de tecnologias verdes tratam essas tecnologias que sustentam a própriaecoinovação. O enfoque de cada país no desenvolvimento de tecnologias apropriadas ao contexto local parece denotar o quanto a incipiência à edificação do conceito deecoinovação permite incluir diferentes tipos de tecnologias nas políticas

definidas pelos governos, de forma semelhante. Uma das implicações a serem analisadas em estudos futuros é o quanto tecnologias, tratadas com o mesmo termo, mas com propósitos diferentes (por exemplo, tecnologias visando à eficiência energética e tecnologias visando a substituição de insumos poluentes) devem requerer políticas públicas distintas (como políticas de desenvolvimento industrial, de rotulagem, de consciência do consumidor etc.).

REFERÊNCIAS

- AI, Y. H.; PENG, D. Y.; XIONG, H. H. Impact of environmental regulation intensity on green technology innovation: from the perspective of political and business connections. *Sustainability*, v. 13, n. 9, 2021.
- BIOLCHINI, J. *et al.* Systematic review in software engineering. *Technical Report ES*, v. 679, 2005.
- BITAT, A. Environmental regulation and eco-innovation: the Porter hypothesis refined. *Eurasian Business Review*, v. 8, n. 3, p. 299-321, 2018.
- BOŽIĆ, L.; BOTRIĆ, V. Eco-innovations in Croatia: exploring entrepreneurs' motivation. *Journal of East European Management Studies*, v. 22, n. 4, p. 484-510, 2017.
- BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W.; BOLLINGER, A. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, v. 15, n. 13-14, p. 1337-48, 2007.
- BURSZTYN, M.; BURSZTYN, M. A. *Fundamentos de política e gestão ambiental: os caminhos do desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: Garamond, 2012.
- CARAVELLA, S.; CRESPI, F. Unfolding heterogeneity: the different policy drivers of different eco-innovation modes. *Environmental Science and Policy*, v. 114, n. March, p. 182-193, 2020.
- CASTELLACCI, F.; LIE, C. M. A taxonomy of green innovators: empirical evidence from South Korea. *Journal of Cleaner Production*, v. 143, p. 1036-47, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.016>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- CHEN, J.; CHENG, J.; DAI, S. Regional eco-innovation in China: an analysis of eco-innovation levels and influencing factors. *Journal of Cleaner Production*, v. 153, n. March 2016, p. 1-14, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.141>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- COOKE, P. Transition regions: regional-national eco-innovation systems and strategies. *Progress in Planning*, v. 76, n. 3, p. 105-146, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.progress.2011.08.002>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- CORDER, Solange. A política de financiamento à inovação no Brasil. *Revista Economia & Tecnologia*, v. 4, n. 3, p. 87-100, 2008.

- COSTA-CAMPI, M. T.; GARCÍA-QUEVEDO, J.; MARTÍNEZ-ROS, E. What are the determinants of investment in environmental R&D? *Energy Policy*, v. 104, n. July 2016, p. 455-65, 2017.
- DEL RÍO, P.; CARRILLO-HERMOSILLA, J.; KÖNNÖLÄ, T. Policy strategies to promote eco-innovation: an integrated framework. *Journal of Industrial Ecology*, v. 14, n. 4, p. 541-57, 2010.
- DEMIREL, P.; KESIDOU, E. Stimulating different types of eco-innovation in the UK: government policies and firm motivations. *Ecological Economics*, v. 70, n. 8, p. 1546-57, 2011.
- DEWICK, P.; MAYTORENA-SANCHEZ, E.; WINCH, G. Regulation and regenerative eco-innovation: the case of extracted materials in the UK. *Ecological Economics*, v. 160, p. 38-51, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.034>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- DIAS, R. *Eco-inovação: caminho para o crescimento sustentável*. São Paulo: Atlas, 2014.
- DURÁN-ROMERO, G. *et al.* Bridging the gap between circular economy and climate change mitigation policies through eco-innovations and Quintuple Helix Model. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 160, n. March, p. 120246, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120246>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- EBADIAN, M.d; VAN DYK, S.; MCMILLAN, J.; SADDLER, J. Biofuels policies that have encouraged their production and use: an international perspective. *Energy Policy*, v. 147, December, p. 111906, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111906>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- FREEMAN, C.; SOETE, L. *A economia da inovação industrial*. Campinas: Editora da Unicamp, 2008.
- GENTE, V.; PATTANARO, G. The place of eco-innovation in the current sustainability debate. *Waste Management*, v. 88, April, p. 96-101, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.026>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- GHISSETTI, C. Demand-pull and environmental innovations: estimating the effects of innovative public procurement. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 125, n. January, p. 178-187, 2017.
- GRAF, P. Eco-innovation – a new paradigm for Latin America? *Revista Gestão e Desenvolvimento*, v. 1, n. 1, p. 148-59, 2015.
- HÄGGMARK, T.; ELOFSSON, K. The impact of water quality management policies on innovation in nitrogen and phosphorus technology. *Water Economics and Policy*, v. 7, n. 1, p. 1-29, 2021.
- HAMHAMI, A.; AMRANI, A. K.; SMAHI, A. Environmental economics in Algeria: empirical investigation into the relationship between technological policy, regulation inten-

- sity, market forces, and industrial pollution of Algerian firms. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 36, p. 45419-34, 2020.
- HOJNIK, J.; RUZZIER, M. The driving forces of process eco-innovation and its impact on performance: insights from Slovenia. *Journal of Cleaner Production*, v. 133, p. 812-25, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.002>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- HORBACH, J. Empirical determinants of eco-innovation in European countries using the community innovation survey. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 19, p. 1-14, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eist.2015.09.005>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- HRONCOVÁ VICIANOVÁ, J. *et al.* Developing eco-innovation in business practice in Slovakia. *Journal of Business Economics and Management*, v. 18, n. 5, p. 1042-61, 2017.
- JABBOUR, C. J.C. Tecnologias ambientais: em busca de um significado. *Revista de Administração Pública*, v. 44, n. 3, p. 591-611, 2010.
- JANG, E. K.; PARK, M. S.; ROH, T. W.; HAN, K. J. Policy instruments for eco-innovation in Asian countries. *Sustainability*, v. 7, n. 9, p. 12586-614, 2015.
- KEMENADE, T. V.; TEIXEIRA, A. A.C. Policy stringency and (eco)-innovation performance: a cross country analysis. *Journal on Innovation and Sustainability*, v. 8, n. 2, p. 34, 2017.
- KIEFER, C. P.; CARRILLO-HERMOSILLA, J.; DEL RÍO, P. Building a taxonomy of eco-innovation types in firms. A quantitative perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 145, n. June, p. 339-48, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.021>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- KÖHLER, J.; WALZ, R.; MARSCHIEDER-WEIDEMANN, F. Eco-innovation in NICs: conditions for export success with an application to biofuels in transport. *Journal of Environment and Development*, v. 23, n. 1, p. 133-59, 2014.
- KUEHR, R. Environmental technologies – from misleading interpretations to an operational categorisation & definition. *Journal of Cleaner Production*, v. 15, n. 13-14, p. 1316-20, 2007.
- LEE, H.; SHIN, K.; LEE, J. D. Demand-side policy for emergence and diffusion of eco-innovation: the mediating role of production. *Journal of Cleaner Production*, v. 259, p. 120839, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120839>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- LIAO, Z.; XU, C.; CHENG, H.; DONG, J. What drives environmental innovation? A content analysis of listed companies in China. *Journal of Cleaner Production*, v. 198, p. 1567-73, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.156>. Acesso em: 23 mar. 2024.

- LOUČANOVÁ, E.; NOSÁLOVÁ, M. Eco-innovation performance in Slovakia: assessment based on ABC analysis of eco-innovation indicators. *BioResources*, v. 15, n. 3, p. 5355-65, 2020.
- LUSTOSA, M. C. J. Industrialização, meio ambiente, inovação e competitividade. In: MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. (Org.). *Economia do meio ambiente*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- MARIN, G.; MARZUCCHI, A.; ZOBOLI, R. SMEs and barriers to Eco-innovation in the EU: exploring different firm profiles. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 25, n. 3, p. 671-705, 2015.
- MAZZANTI, M. Eco-innovation and sustainability: dynamic trends, geography and policies. *Journal of Environmental Planning and Management*, v. 61, n. 11, p. 1851-60, 2018.
- OECD. *Oslo manual 2018: guidelines for collecting, reporting and using data on innovation*. [S. l.: s. n.], 2018.
- OKOLI, C. Guia para realizar uma revisão sistemática de literatura. *Revista Científica em Educação a Distância*, v. 9, n. 1, p. 1-40, 2019.
- PINSKY, V.; KRUGLIANSKAS, I. Sustentabilidade: aprendizados de sucessos e fracassos. *Estudos Avançados*, v. 31, n. 90, p. 107-26, 2017.
- PITELIS, A. T. Industrial policy for renewable energy: the innovation impact of European policy instruments and their interactions. *Competition and Change*, v. 22, n. 3, p. 227-54, 2018.
- SAMANT, S.; THAKUR-WERNZ, P.; HATFIELD, D. E. Does the focus of renewable energy policy impact the nature of innovation? Evidence from emerging economies. *Energy Policy*, v. 137, February, p. 111119, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111119>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- SCHLEICH, J.; WALZ, R.; RAGWITZ, M. Effects of policies on patenting in wind-power technologies. *Energy Policy*, v. 108, September, p. 684-95, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.06.043>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- SIERZCHULA, W.; NEMET, G. Using patents and prototypes for preliminary evaluation of technology-forcing policies: lessons from California's Zero Emission Vehicle regulations. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 100, p. 213-24, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.003>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- SINGH, S. et al. Green innovation and environmental performance: the role of green transformational leadership and green human resource management. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 150, January, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.11976>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- TAYLOR, M. Beyond technology-push and demand-pull: lessons from California's solar policy. *Energy Economics*, v. 30, n. 6, p. 2829-54, 2008. Acesso em: 23 mar. 2024.

- VEUGELERS, R. Which policy instruments to induce clean innovating?. *Research Policy*, v. 41, n. 10, p. 1770-8, 2012.
- WANG, Y. F.; LEE, S. K.; YE, Q. Opinion leaders in eco-innovation diffusion: analysis of information networks for waste separation in Shanghai. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 174, n. July, p. 105822, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105822>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- WANG, X.; ZOU, H. Study on the effect of wind power industry policy types on the innovation performance of different ownership enterprises: evidence from China. *Energy Policy*, v. 122, n. February, p. 241-52, 2018.
- WESSELING, Joeri H. Explaining variance in national electric vehicle policies. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 21, n. 2016, p. 28-38, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eist.2016.03.001>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- WU, W. *et al.* A system dynamics model of green innovation and policy simulation with an application in Chinese manufacturing industry. *Sustainable Production and Consumption*, v. 28, p. 987-1005, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.07.007>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- YUAN, B. ZHANG, Y. Flexible environmental policy, technological innovation and sustainable development of China's industry: the moderating effect of environment regulatory enforcement. *Journal of Cleaner Production*, v. 243, p. 118543, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118543>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- ZHOU, X.; XIA, M.; ZHANG, T.; DU, J. Energy-and environment-biased technological progress induced by different types of environmental regulations in China. *Sustainability*, v. 12, n. 18, 2020.