



## O papel das ecoinovações na transição para uma Economia Circular

### *The role of eco-innovations in the transition to a Circular Economy*

Wladimir Henriques Motta <sup>a</sup> 

**RESUMO:** Nos últimos anos, as abordagens sobre a relação entre meio ambiente, sistema econômico e sociedade vêm ganhando força nos debates nacionais e internacionais devido à constante deterioração das condições de vida no planeta, principalmente por meio da aceleração do esgotamento dos recursos naturais e a geração exacerbada de resíduos. O atual modelo econômico baseado na superprodução e superconsumo levou o mundo à crise ecológica e esse “velho” modelo deve ser modificado ou adaptado a uma realidade de crise. Assim, rever as práticas organizacionais é hoje um elemento crucial para divulgar as áreas onde os esforços inovadores devem se concentrar. A economia circular surge como alternativa à abordagem linear tradicional. O desafio desta proposta é desenvolver uma abordagem inovadora para superar o atual *trade-off* entre o modelo de crescimento econômico incessante e o Antropoceno. Essas inovações devem enfrentar os problemas ambientais vivenciados, constituindo-se, portanto, em ecoinovações, um tipo de inovação que pode promover a redução do consumo de recursos naturais, emissão de gases de efeito estufa e geração de resíduos, entre outros desafios ambientais. Nesse contexto, indaga-se, como as ecoinovações podem contribuir para construir a necessária abordagem circular? O presente estudo visa lançar luz a essa discussão por meio de uma revisão de literatura analisando o importante papel da economia circular e suas relações com as ecoinovações.

**Palavras-chave:** Ecoinovação; Economia circular; Modelo de negócio sustentável; Crise ecológica.

**ABSTRACT:** In recent years, approaches concerning to the relationship between environment, economic system and society have been gaining strength in national and international debates due to the constant deterioration of living conditions on the planet, mainly through the acceleration of the depletion of natural resources and the exacerbated generation of waste. The current economic model based on overproduction and overconsumption lead the world to the ecological crisis and this “old” model should be modified or adapted to this crisis reality. Thus, reviewing organizational practices is now a crucial element to disclose the areas where the innovative efforts must focus. The circular economy emerges as an alternative to the traditional linear approach. The challenge of this proposal is to develop an innovative approach to overcome the current trade-off between the model of unlimited economic growth and the Anthropocene. These innovations must face the environmental problems experienced, and thus must be eco-innovations, a type of innovation that can promote the reduction of the consumption of natural resources, the emission of greenhouse gases and the generation of waste, among other environmental challenges. In this context, can eco-innovations contribute to building this necessary circular approach? The present study aims to shed light on this discussion through a literature review analyzing the important role of circular economy and its interrelation with the eco-innovations.

**Keywords:** Eco-innovation; Circular economy; Sustainable business model; Ecological crisis.

---

<sup>a</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

\* Correspondência para/Correspondence to: Wladimir Henriques Motta. E-mail: mottaw@gmail.com.

Recebido em/Received: 15/03/2022; Aprovado em/Approved: 26/05/2022.

Artigo publicado em acesso aberto sob licença [CC BY 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

## INTRODUÇÃO

O uso contínuo de recursos naturais a taxas acima da capacidade de regeneração do planeta, devido principalmente à produção e consumo, trouxe nosso ecossistema para uma realidade de fragilidade sem precedentes. Nesse sentido, as atividades humanas têm causado impactos negativos sobre o meio ambiente em todas as escalas. O atual modelo de produção e consumo gerou uma crise ecológica com consequências devastadoras para o planeta e as sociedades humanas, como aquecimento global, esgotamento dos recursos naturais e declínio da biodiversidade (ISSBERNER; LÉNA, 2016; LATOUCHE, 2012).

Dentre as diversas evidências, pode-se destacar aquelas relacionadas aos vários parâmetros do sistema Terra que começaram recentemente a se desenvolver além do espectro da variabilidade natural do Holoceno, gerando a discussão sobre o uso do termo Antropoceno para especificar as mudanças no sistema Terra que são de origem humana (ISSBERNER et al., 2018).

Um fato que reforça essa preocupação é o entendimento de que temos nove fronteiras ambientais que, uma vez transpostas, podem gerar mudanças severas e não lineares numa escala continental e planetária. Algumas dessas fronteiras já foram extrapoladas, como as mudanças climáticas, a perda da integridade da biosfera, as mudanças no uso do solo e as mudanças nos ciclos biogeoquímicos do fósforo e do nitrogênio (ROCKSTROM et al., 2009, EUROPEAN COMMISSION, 2010). Diante disso, um dos principais desafios é o de combinar o desenvolvimento econômico, até então medido sobretudo pelo PIB, e a elevação contínua dos padrões de vida de uma população mundial estimada em aproximadamente 10 bilhões até 2050, contra um contexto já amplamente discutido de recursos naturais limitados e da incapacidade da Terra em absorver a quantidade de resíduos gerada sem comprometer a sustentabilidade do ambiente global (OCDE, 2012).

Frente a este desafio, algumas propostas demonstraram um potencial promissor, dentre estas, a mais abrangente e desafiadora é a da economia circular – EC. A EC se opõe às limitações da economia convencional, trazendo uma abordagem circular, que propõe o fechamento do ciclo de produção. Segundo a EC, os recursos naturais devem ser usados pelo maior tempo possível por meio de energias renováveis, sob projetos de produtos baseados em design ecológico (ecodesign) com novas abordagens de uso (compartilhamento e “servitização”), incluindo maior reutilização de resíduos e, conseqüentemente, menor geração destes. Esta proposta está sendo disseminada e discutida e vem ganhando força mundo a fora (MOTTA et al., 2017, MOTTA et al., 2018, JESUS et al., 2018; JAWAHIR et al., 2016; RITZÉN et al., 2017; KIRCHHERR ET al., 2017).

Sendo assim, a EC pode ser vista como uma alternativa à abordagem da economia linear convencional, na qual os recursos são utilizados para uma finalidade específica na cadeia de produção e são descartados no decorrer dos processos industriais ou de consumo. O sistema de produção circular é um conceito que inspira inovação, ou melhor ecoinovação, onde a ideia de “desperdício” se torna relativizada, já que em sua

proposta o que hoje é descartado, e na maioria das vezes é desperdiçado em forma de resíduos, começa a ser reinserido em um novo ciclo de produção (MOTTA et al., 2017; MOTTA et al., 2018; JESUS et al., 2018; SMOL et al., 2017).

A proposta da EC é muito ampla, trazendo uma nova visão e um novo modelo de negócios que engloba todo o ciclo de vida de um produto. O ciclo se inicia com a concepção, passando pela distribuição e uso e finalizando com o descarte (reciclagem ou reutilização). Seus princípios são inspirados em ciclos biológicos, enfatizando a importância de se otimizar o uso de recursos naturais em um sistema ao longo do tempo (DI MAIO et al., 2015, BALANAY et al., 2016, MOTTA et al., 2017, MOTTA et al., 2018).

Em outras palavras, segundo Stankevičienė e outros (2020), a EC está operando como um ecossistema natural, desta forma, se houver um resíduo natural, ele deverá ser devolvido ao meio ambiente, contudo, todos os materiais que podem ser reciclados e descartados devem receber sua correta destinação. Em termos sintéticos, a economia circular busca equilibrar o desenvolvimento econômico com a preservação dos recursos naturais e a redução da geração de impactos nocivos ao meio ambiente.

A inovação, neste contexto, tem um papel crucial, já que mudanças serão necessárias para que este novo modelo econômico possa entrar em vigor. Vale ressaltar que existem características comuns entre as inovações “tradicionais” e as ecoinovações, ambas, podendo ser entendidas como práticas e processos estruturados que precedem a mudança, sendo então a mudança o resultado final (AL HMEIDIYEEN, 2015; MOTTA et al., 2018). Não se pode depender única e exclusivamente das inovações para o enfrentamento do Antropoceno, mas elas têm um papel relevante e reconhecido frente a este desafio ecológico, especialmente as ecoinovações. Esse tipo de inovação traz os aspectos ambientais para a pauta de discussões, podendo transformar todo o sistema de inovação, incorporando processos e produtos ambientalmente sustentáveis (MOTTA et al., 2018; CARRILLO-HERMOSILLA et al., 2010; VEIGA; ISSBERNER 2012).

Assim como as inovações tradicionais, as ecoinovações podem ocorrer de diferentes maneiras, seja combinando materiais e processos de produção, criando novos produtos ou oferecendo um novo atributo a um produto existente em um novo método de produção. No entanto, o principal desafio para a transição a uma sociedade mais sustentável, mais limpa e mais equitativa é colocar a inovação em um novo contexto, no qual a sustentabilidade ambiental seja adequadamente considerada (MOTTA et al., 2017; JESUS et al., 2018).

## CONTEXTO E MÉTODOS

Diante desse quadro relativamente recente que confronta modelos e padrões consolidados nas formas de produção e consumo, muitas questões podem ser identificadas, a pergunta principal do presente trabalho é: Como as ecoinovações podem contribuir para construir a necessária abordagem circular da economia?

Assim, tendo como principais objetivos identificar e analisar o papel da economia circular frente ao desafio ecológico e as interdependências com as ecoinovações, será elaborada uma revisão crítica da literatura recente nesses temas.

O presente estudo consiste numa revisão bibliográfica que envolve o mapeamento da lacuna de pesquisa referente aos temas economia circular e ecoinovação, identificando na literatura estudos que discutem o papel das ecoinovações na transição para um ambiente técnico-econômico sustentável, segundo o proposto pela EC. Desta forma se justifica aqui selecionar e organizar os conceitos encontrados segundo um viés conceitual próprio focado na identificação de eventuais interdependências.

O estudo foi realizado nas bases de dados Scopus e Web of Science, sendo consultados ainda relatórios internacionais, citados ao longo do texto.

## **ECONOMIA CIRCULAR – O SEU ABRANGENTE CONCEITO**

De acordo com Stankevičienė e outros (2020), o ponto de partida para a abordagem da EC foi o de mudar o sistema econômico linear baseado em “tirar da natureza – produzir – gerar resíduos”, para que se pudesse diminuir o uso de recursos e o desperdício de capital natural. Sendo, uma abordagem fundamental para apoiar uma transição para o crescimento sustentável (Pigozzo et al., 2021).

Griggs e outros (2013) argumentam que, no Antropoceno, o desenvolvimento sustentável, tal como apresentado no relatório Brundtland, precisa ser reconceituado. Eles salientam que a economia e a sociedade precisam ser sustentadas dentro dos sistemas de suporte à vida na Terra. Os autores reformularam a definição de desenvolvimento sustentável como sendo o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente, salvaguardando o papel do sistema de suporte à vida na Terra, do qual depende o bem-estar das gerações atuais e futuras (GRIGGS et al., 2013).

A partir daí, a proposta da EC sugere como um novo padrão restaurador e regenerativo por princípio. Seu objetivo é manter os produtos, componentes e materiais em seu mais elevado nível de utilidade e valor pelo maior tempo possível, reduzindo drasticamente a geração de resíduos. Este novo modelo econômico visa, em última instância, separar o desenvolvimento econômico global do consumo de recursos finitos. A EC responde aos desafios relacionados à disponibilidade de recursos (primários e secundários) para as organizações e países, gerando crescimento, criando empregos e reduzindo os impactos ambientais amplamente (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013a; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013b; MOTTA et al, 2017; MOTTA et al., 2018; JESUS et al., 2018; JAWAHIR et al., 2016; RITZÉN et al., 2017; KIRCHHERR et al., 2017; PIGOZZO et al., 2021).

Nos últimos anos, o conceito da EC tem recebido atenção crescente, de acordo com a Comissão Europeia, a transição para o modelo circular pode gerar ganhos econômicos anuais de 600 bilhões de euros para o setor manufatureiro da UE (EMF, 2013a; KORHONEN, 2018), enquanto a economia global pode se beneficiar em 1.000 bilhões de dólares anualmente (EMF, 2013a). Um diferencial da proposta de economia circular

é o fato de ela ser uma abordagem para o crescimento econômico que está alinhada com o desenvolvimento ambiental e econômico sustentável.

A ideia de ciclos materiais existe desde o início da industrialização, mas o modelo linear dominou o desenvolvimento industrial até a atualidade. A EC enfatiza a reutilização de produtos, componentes e materiais, remanufatura, reformas, reparos, o uso de energias renováveis e o pensamento do ciclo de vida dos produtos *cradle to cradle* (do berço ao berço) (EMF, 2013; RASHID et al., 2013; KORHONEN, 2018).

Com o objetivo de maximizar a eficiência dos recursos, a EC representa desta forma uma alternativa ao atual modelo linear de "extrair-produzir-usar-descartar". O tema central do novo conceito é a avaliação de materiais dentro de um sistema de circuito fechado, que envolve outros conceitos e abordagens, como:ecoinovação, ecoeficiência, *design* ecológico, produção mais limpa, gerenciamento do ciclo de vida, logística reversa, energias renováveis, consumo sustentável, dentre outros (MOTTA et al., 2017).

Os fundamentos conceituais e científicos da EC ainda estão subexplorados, mas pode-se considerar que sofreram influências de vários autores, teorias e escolas de pensamento que desafiam o sistema econômico predominante, baseado no modelo de produção e consumo exacerbados, que desconsidera a finitude dos recursos naturais (Motta et al., 2017; Motta et al., 2018; Rizos et al., 2017).

As contribuições teóricas para a elaboração destas propostas são diversas, mas pode-se considerar que esta preocupação já apareceu nos trabalhos de John Stuart Mill, em meados do século XIX, onde discutia a "condição estacionária" da economia. No capítulo VI de seu quarto livro dos Princípios de Economia Política, Mill chama a atenção para o estado de inércia, ou estagnação, ao qual a economia capitalista tende a atingir (MILL, 1983, p.325). O termo "condição estacionária" foi usado por Pearce e Turner em 1990, na obra "Economia dos recursos naturais e do meio ambiente". Esta é uma das bases mais antigas da EC, mas outras contribuições também se destacam, como: ecologia industrial; economia ecológica; "zero waste"; decrescimento; e 9 R's, entre outras.

Conforme mencionado anteriormente, Pearce e Turner (1990) são reconhecidos como os pioneiros em introduzir o termo economia circular, considerando as relações das funções econômicas às do meio ambiente, mas a proposta foi melhor difundida e promovida mundo a fora pela Ellen MacArthur Foundation (EMF). A EMF iniciou suas atividades em 2010, apresentando a economia circular como uma proposta regenerativa, que vai além da solução da reciclagem, tendo como um dos focos o redesenho do produto e sua utilização máxima antes de qualquer transformação física ou físico-química, que gere desperdício de energia e/ou resíduos ao longo da cadeia de valor (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013b). A ideia é de quanto maior a circularidade do produto, menos recursos naturais serão utilizados e menos pressão ambiental será gerada.

A EMF reuniu alguns conceitos que são apresentados a seguir. Tais conceitos ultrapassam os limiares acadêmicos, ao propor o seu uso pragmático em um modelo de negócio que conjuga a preocupação com as questões ambientais com a possibilidade de ganhos econômicos, bem como a reconstrução do capital social (Ellen MacArthur Foundation, 2013b). A Ellen Macarthur Foundation (2013a) adota três princípios fundamentais:

1. preservar e melhorar o capital natural controlando os estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis;
2. otimizar o rendimento dos recursos, circulando produtos, componentes e materiais com a mais alta utilidade e valor em todos os momentos dentro dos ciclos técnicos e biológicos;
3. promover a eficácia do sistema revelando e projetando externalidades negativas.

No quadro 1 constam três definições clássicas de Economia circular adotadas pelas instituições mais relevantes na área.

**Quadro 1.** Definições da Economia Circular.

Ano	instituições	conceito da economia circular
2014	World Economic Forum	um modelo industrial que dissocia as receitas do insumo material
2015	European Commission	na economia circular, o valor dos produtos, materiais e recursos é mantido na economia pelo maior tempo possível, e a geração de resíduos minimizados
2015	Ellen Macarthur Foundation	uma economia que fornece múltiplos mecanismos de criação de valor, que são dissociados do consumo de recursos finitos

Fonte: o autor.

Segundo Jesus et al. (2018) a economia circular pode ser considerada, como:

- um conceito integrador para alcançar “congruência limpa”, orientando novos arranjos institucionais que correspondam às considerações ambientais com o desempenho socioeconômico, promovendo o desenvolvimento técnico-econômico que não depende do consumo de recursos finitos;
- uma estrutura multinível (micro, meso e macro) que reconfigura e redireciona os modelos de produção e de negócios para a resiliência e sustentabilidade;
- uma noção abrangente que exige ações específicas para minimizar a extração de recursos, maximizar a reutilização, aumentar a eficiência, aumentar a reciclagem de resíduos e o desenvolvimento de novos modelos de negócios.

## O PAPEL DAS ECOINOVAÇÕES NA CONTEMPORANEIDADE

A importância da informação e do conhecimento no mundo contemporâneo é percebida em diferentes dimensões, sendo considerada uma fonte de inovação e competitividade para organizações, regiões e países. Uma das características de destaque da sociedade contemporânea é a importância dada à inovação, na qual as organizações inovadoras são consideradas capazes de desenvolver e adotar novos produtos, processos e projetos (ZATTAR et al., 2011). O mesmo entendimento se tem quanto as questões ambientais, onde a visão de que a inovação é um fator-chave para a sustentabilidade ambiental é amplamente aceita entre acadêmicos, profissionais da indústria e representantes do governo (SILVESTRE et al., 2018).

Neste sentido, analisar e compreender melhor os processos de produção e consumo é uma condição necessária para o enfrentamento desta crise ecológica, sendo a efetiva implementação das práticas circulares um instrumento para o alcance do almejado desenvolvimento ambientalmente sustentável (MOTTA et al., 2018).

Segundo Pieroni et al., (2021), diversas barreiras externas ou internas, técnicas e não-técnicas, têm contribuído para uma limitada penetração e adoção de inovações dos modelos de negócios junto a implementação da economia circular. Segundo Veiga e Issberner (2012) as inovações, particularmente as tecnológicas, fazem parte da solução, mas têm sido também parte do problema ecológico, fato este já apontado por Bereano (1976, pg. 10), “A deterioração do meio ambiente produzida pela tecnologia é um problema tecnológico para o qual a tecnologia encontrou, está encontrando e continuará a encontrar soluções”.

Segundo Foray e Grobler (1996) soluções relevantes e viáveis para os problemas ambientais exigem mais e melhor domínio da tecnologia e não menos. Os autores se basearam em estudos que apontavam que mais tecnologia não significaria, necessariamente, mais da mesma tecnologia já disponível ou, simplesmente, um “hardware” mais tecnológico, mas significaria uma compreensão mais profunda dos mecanismos subjacentes à mudança tecnológica e os fatores que governam a difusão de tecnologias ambientalmente relevantes, bem como um maior conhecimento do contexto político e institucional que poderia promover, ou dificultar as mudanças necessárias (FORAY et al., 1996).

A crença cega na tecnologia levou autores como Tanuro (2014) a argumentar que as políticas “ambientais” estão longe de abordar a questão essencial: como reduzir a produção material e proporcionar um padrão de vida decente aos seres humanos? As políticas atuais visam prolongar os negócios como de costume (o “*business as usual*”), evitando qualquer transformação estrutural que possa questionar o sistema de poder e os valores que conduziram a humanidade rumo a “catástrofe ecológica” (TANURO, 2014; MOTTA et al., 2018).

No entanto, mesmo acreditando que a tecnologia sozinha não seja suficiente para resolver os problemas ambientais atuais, é certo que ela pode colaborar para mitigar a mudança climática e a adaptação às mudanças no meio ambiente (MOTTA et al., 2018).

Neste contexto, as ecoinovações vêm ganhando cada vez mais atenção na literatura, bem como no contexto governamental e empresarial (HOJNIK et al., 2016; MOTTA et al., 2018).

Ao trazer os aspectos ambientais para as discussões, o conceito de ecoinovação possibilita a transformação dos sistemas de inovação, criando processos sustentáveis que minimizam os impactos ecológicos (CARRILLO-HERMOSILLA et al., 2010; MOTTA et al., 2018). No entanto, o principal desafio para a transição para uma sociedade sustentável, mais limpa e mais equitativa é recontextualizar a inovação, pois há pouco tempo considerava-se nos cálculos das corporações apenas as variáveis econômicas e técnicas. Nessa transição, o importante é valorizar a dimensão social e ambiental da inovação, prevendo inclusive mudanças de comportamento, que são aspectos críticos tanto na produção, quanto no consumo de mercadorias (BLEISCHWITZ et al., 2009; MANGET et al., 2009; MOTTA et al., 2018).

Segundo Jesus e outros (2018), para fins de formulação de políticas, tomada de decisão empreendedora e pesquisa acadêmica alguns dos aspectos críticos da definição de ecoinovação envolvem:

1- A melhoria do desempenho ambiental - isto é, inovação verde, definida como inovações que consistem em processos, práticas, sistemas e produtos novos ou modificados, que beneficiam o meio ambiente e contribuem para a sustentabilidade (OLTRA et al., 2009);

2 – Produção eficiente e limpa para o mercado - isto é, Inovação ambiental / ecológica, definida como todo tipo de inovação organizacional que gera benefícios ao meio ambiente, englobando todas as mudanças e novidades organizacionais que buscam reduzir seus impactos ambientais (KAMMERER, 2009);

3- Os benefícios duradouros e socialmente responsáveis - isto é, Inovação sustentável, definida como a criação de novos espaços de mercado, produtos e serviços ou processos impulsionados por questões sociais, ambientais ou de sustentabilidade (LITTLE, 2005).

Segundo Jesus e outros (2018), tomando como base as tipologias de ecoinovação existentes (OCDE, 2012) e inspiradas nas diretrizes do Manual de Oslo (OCDE, 2009), a ecoinovação pode ser contemplada em três dimensões, quais sejam: quanto aos seus objetivos; quanto aos seus mecanismos e; quanto aos seus impactos. Ainda segundo Jesus e outros (2018a), podem ser consideradas na categoria de ecoinovação qualquer inovação incremental ou radical que:

- não gere impactos ambientais negativos;
- evite direta ou indiretamente danos ao capital natural, ao fornecer eficiência de custo, aprimoramento de mercado ou atendimento às regulações do mercado;
- resulte em mercadorias novas ou melhoradas e serviços, processos tecnológicos e não tecnológicos, esquemas de *marketing* ou organizacionais;

- envolva um ator ou uma pluralidade de atores.

No discurso político, prevalece a ideia de que para encontrar soluções a esses desafios ecológicos e econômicos é necessário implementar novas formas de atuação, tanto esfera da produção, como na esfera do consumo e, para tal, os mecanismos de geração de novos conhecimentos e inovações são reconhecidos como os principais agentes propulsores. Em síntese, pode-se considerar que a competitividade futura não é mais definida como a concorrência entre as corporações, mas sim a adequação às perspectivas e realidades de novos modelos de negócios, sustentados pela inovação (COMISSÃO EUROPEIA, 2010; OCDE, 2011; BOONS et al., 2013).

Dada essa dinâmica competitiva dos mercados atuais, pode-se entender que o desafio da Economia Circular é o de desenvolver um modelo de negócios com abordagem inovadora, para superar o atual *trade-off* entre o modelo de desenvolvimento econômico linear e a crise ambiental estabelecida (MOTTA et al., 2017). De fato, uma EC de pleno direito exigiráecoinovações radicais e sistêmicas para transformar padrões lineares de produção e consumo em novos padrões circulares, que irão mobilizar novos valores sociais, éticos e ambientais (MOTTA et al., 2017, MOTTA et al., 2018, JESUS et al., 2018). Essas necessárias e complexas mudanças, vão requerer aperfeiçoamentos substanciais no modo de extração dos recursos naturais, na maneira de produzir, embalar, entregar produtos, de consumir e de descartar os resíduos gerados.

## **ECOINOVAÇÕES PARA A ECONOMIA CIRCULAR**

A transição para uma sociedade sustentável vai depender da construção de um processo inovador de reconfiguração e adaptação de todo o ciclo de produção, incluindo novos valores éticos, sociais e ambientais. Mais do que apenas a introdução de uma novidade num dado momento, a inovação está inserida em uma estrutura social e econômica mais ampla, enraizada em um contexto histórico e territorial específico (FREEMAN et al., 1987). A interrelação entre as ecoinovações e a EC foi aqui discutida, revelando que o alcance dos preceitos da EC depende em grande medida da introdução de ecoinovações em etapas do ciclo de vida dos produtos onde forem detectados desperdício de recursos naturais, ineficiência, desconformidade a padrões e outros aspectos críticos ambientais. Pode-se entender então que a ideia da economia circular como novo paradigma de desenvolvimento socioeconômico sugere que o sistema atual precisa ser transformado, ou melhor ecoinovado (VENCE et al., 2019).

A seguir, as principais interrelações entre os conceitos de Ecoinovação e Economia Circular e suas práticas serão pontuadas comparativamente, em termos de níveis de análise e oportunidades/obstáculos.

### **Níveis de análise**

Três níveis de análise foram apresentados na literatura sobre ecoinovação, com base nos quais a profundidade ou especificidade da implementação da ecoinovação pode ser apreciada (MOTTA et al., 2018; TECHNOLIS, 2008; DÍAZ-GARCÍA et al., 2015).

- Nível micro - gestão visionária e preocupação gerencial são considerados dois dos fatores mais importantes no desenvolvimento de ecoinovações, juntamente com recursos e capacidades (como pessoal qualificado, rede e capacidade de absorção e identidade organizacional verde);
- Nível meso - dinâmicas de mercado, grupos de pressão e redes são elementos-chave na promoção de ecoinovações;
- Nível macro - importância relativa de fatores regionais, tais como “regiões de transição” e “distritos”.

Três níveis de análise também foram destacados na literatura da economia circular, com base nos quais a complexidade ou especificidade da implementação podem ser devidamente apreciadas (GHISELLINI et al., 2016; JESUS et al., 2018; SAIDANI et al., 2018):

- Nível micro - a EC concentra-se em atores individuais, particularmente empresas e consumidores, exemplos incluem: *ecodesign*; estratégias de produção mais limpas; propostas de ecoeficiência; sistemas de rotulagem e; métodos sustentáveis de produção e consumo (YUAN et al., 2006; ZHU et al., 2010; GENG et al., 2009, 2012);
- Nível meso - a EC concentra-se na interação entre atores, especialmente nas redes interindustriais e interfiras, exemplos incluem: simbiose industrial; parques eco industriais; gestão da cadeia de suprimentos verde e logística reversa (ZHU et al., 2010);
- Nível macro - a EC é teorizada em escala nacional ou global, este é o nível mais alto onde cidades, países e agências internacionais residem, exemplos incluem: legislação; análise de impacto regulatório; regimes de desperdício zero; e sociedades orientadas para a reciclagem (GHISELLINI et al., 2016; ZHIJUN et al., 2007).

O quadro 2 a seguir traz um comparativo entre os níveis de análise pesquisados para ecoinovação e para a EC.

**Quadro 2.** Níveis de análise da ecoinovação e economia circular.

	nível micro	nível meso	nível macro
ecoi nov			Atores regionais e

Atores individuais; ecodesign; ecoeficiência em produtos e processos; consumo ambientalmente consciente (compartilhamento, “servitização”, rotulagem ambiental)	Atores coletivos (indústrias / empresas); cadeia de valor sustentável (fornecedores, produtores e consumidores sustentáveis) somado ao reaproveitamento dos resíduos; simbiose industrial/parques eco industriais	globais; Sociedade engajada e ambientalmente consciente; Legislação ambientalmente favorável
---	---	--

Fonte: o autor.

### Oportunidades e Barreiras

Na literatura deecoinovação, são apontados alguns fatores determinantes para a sua introdução nas corporações: a regulação (como fator mais citado); pressões normativas; necessidade de eficiência (ecoeficiência); mercado; relevância estratégica; tecnologia (P&D); e disponibilidade de recursos (MOTTA et al., 2018; BOSSLE et al., 2016; HOJNIK et al., 2016, PACHECO et al., 2017; RENNINGS, 2000). De uma forma geral a motivação ainda está muito orientada para a conformidade com os padrões estabelecidos pelo mercado ou pelo Estado e não por objetivos voluntários.

Apesar de a economia circular ainda ser uma terminologia/área de pesquisa em construção, estudos apontam para as seguintes oportunidades de adoção: regulação; pressões políticas; tecnologia (P&D); marca; mercado; fornecedores; relevância estratégica; e fatores econômicos (maiores ganhos) (MONT et al., 2017; JESUS et al., 2018; MOUZAN, 2016; MOTTA et al., 2018). Os autores apontam para o papel dos consumidores não domésticos, fornecedores e concorrentes, o que remete a questões associadas à cadeia de valor. Além disso apontam também para a temática da reponsabilidade social corporativa.

As **barreiras para implementação de ecoinovações** encontradas na literatura, foram aqui classificadas em quatro grupos, são eles: cultural, regulatório, mercado e tecnológico (MOTTA et al., 2018, JESUS et al., 2018, MATUS et al., 2012). Se apresentam da seguinte forma:

- Cultural – A insuficiência do nível de pressão por parte dos consumidores para se ecoinnovar;
- Regulatória – A falta de um quadro de diretrizes para o apoio institucional e a falta de políticas públicas e leis;
- Mercado – a inviabilidade técnico-econômica de ecoinovações podem desestimular a sua introdução no mercado;
- Tecnológicas – incompatibilidade tecnológica entre padrões pode inviabilizar/retardar a implementação de mudanças necessárias.

Da mesma forma, a partir da literatura, as **barreiras para implementação de práticas relacionadas a EC**, foram classificadas nos grupos: cultural, regulatório, mercado e tecnológico (VAN EIJK, 2015; JESUS et al., 2018b; GHISELLINI et al., 2016; BECTHEL et al., 2013; CORDER et al., 2014; EUROPEAN COMMISSION, 2011). Tais barreiras se apresentam da seguinte forma:

- Cultural – A falta de consciência ou vontade de se envolver com as práticas propostas pela economia circular;
- Regulatória – A falta de um quadro de apoio de políticas públicas e leis que apoiem a transição para a economia circular;
- Mercado – Os aspectos de viabilidade técnico-econômicos de algumas das propostas requeridas pela economia circular podem inviabilizar sua colocação no mercado;
- Tecnológicas – Muitas das vezes há uma incompatibilidade tecnológica para a implementação da mudança necessária na transição rumo a economia circular.

O quadro a seguir aponta as oportunidades e barreiras para as ecoinovações e a EC.

**Quadro 3.** Oportunidade e barreiras para a ecoinovação e economia circular.

	<i><b>determinantes</b></i>	<i><b>barreiras</b></i>
<i><b>ecoinovação e economia circular</b></i>	Cultural - relevância estratégica para as empresas; Regulatório - leis favoráveis; Mercado – buscar atender a demanda dos consumidores ambientalmente sustentáveis; Tecnológicos - pesquisa e desenvolvimento de tecnologias ambientalmente sustentáveis	Cultural - falta de envolvimento empresarial/individual com as práticas ambientalmente sustentáveis; Regulatório – a falta de um quadro de apoio de políticas públicas e leis de apoio; Mercado – os aspectos de viabilidade técnico-econômicos podem inviabilizar sua colocação no mercado; Tecnológicos – muitas das vezes há uma incompatibilidade tecnológica para a implementação da mudança necessária

Fonte: o autor.

## DISCUSSÃO

Verificou-se um crescente interesse nos conceitos de ecoinovação e também de EC, tanto na perspectiva gerencial quanto acadêmica. Em uma transição para um ambiente técnico-econômico sustentável, como o proposto pela economia circular, o papel da inovação, especificamente da ecoinovação, vem sendo discutido, mas não exatamente

sob a mesma perspectiva conceitual adotada no presente trabalho. Os conceitos deecoinovação e EC aqui adotados são recentes, não consolidados e de fato necessitam de algum tempo de depuração analítica. Além disso, tais conceitos precisarão de algum grau de flexibilidade de modo a acomodar eventuais diferenciações de contextos em função das realidades locais e regionais.

Os níveis de análise aqui apresentados para a ecoinovação e a economia circular (níveis micro, meso e macro), oferecem alternativas de implementação de estratégias e políticas para o enfrentamento do antropoceno no setor produtivo, onde as mudanças são mais desafiadoras. O mapeamento das oportunidades e barreiras segundo a classificação nos quatro grupos (cultural, regulatório, mercadológico e tecnológico) demonstram a importância do conceito de ecoinovação na transição para uma economia circular, que ainda enfrenta um conjunto de questões a serem superadas, como apresenta o quadro 4 a seguir:

**Quadro 4.** Oportunidades, desafios e suas fragilidades.

âmbito	viés positivo	viés negativo
<b>cultural</b>	importância estratégica do tema dentro das indústrias / empresas, sendo neste caso, fomentadoras das práticas ambientalmente sustentáveis	falta de envolvimento das empresas e indivíduos, sendo um fator contrário ao fomento da transição para a economia circular
<b>regulatório</b>	leis favoráveis a práticas ambientalmente corretas, motivando que as indústrias / empresas e inclusive os consumidores, caminhem rumo a economia circular	falta destas leis, fato preocupante, já que na literatura a regulação se apresenta como a principal motivadora para as ecoinovações e a implementação da economia circular
<b>mercadológico</b>	fato de se buscar atender as demandas do grupo de consumidores ambientalmente conscientes, público consumidor este que é crescente e vêm conduzindo a mudança de comportamento por parte das indústrias / empresas rumo a sustentabilidade ambiental	tem-se as problemáticas inerentes a falta de viabilidade técnico-econômica para este atendimento, o que dificulta ainda mais a busca por uma abordagem ambientalmente positiva por parte de indústrias / empresas
<b>tecnológico</b>	tem-se a existência de pesquisa e desenvolvimento favoráveis a criação das tecnologias necessárias para o alcance dos objetivos ambientais, podendo viabilizar o surgimento de ecoinovações e consequentemente colaborar na transição ao modelo circular	tem-se a falta deste desenvolvimento tecnológico, o que irá na maior parte dos casos, impossibilitar a movimentação rumo aos preceitos da economia circular.

Fonte: o autor

## CONCLUSÕES

O presente estudo deixa clara a relação de complementariedade das literaturas de ecoinovação e de economia circular, que juntas proporcionam um terreno fértil para consolidar efetivamente suas definições e suas inter-relações que têm um potencial

para formar um campo dinâmico e complexo, capaz de proporcionar oportunidades promissoras para pesquisas futuras.

Também ficou clara a importância de uma atuação efetiva nos três níveis apontados (micro, meso, macro), o que pode contribuir para acelerar a transição rumo a uma Economia Circular. O trabalho evidencia que os quatro grupos percebidos como oportunidades e barreiras (cultura, regulação, mercado e tecnologia), também têm papel decisivo frente a almejada transição. A identificação dos aspectos positivos e negativos relacionados à transição para uma Economia Circular, pode parecer simplista, mas eles podem ser pontos de partida para estudos mais aprofundados em setores, países, regiões etc., de modo a balizar políticas e estratégias industriais, visando minimizar os aspectos negativos identificados e maximizar os pontos positivos identificados.

Certamente a transição rumo a uma economia circular, não ocorrerá de maneira automática nem natural, mas exigirá, em primeiro lugar, um melhor e mais amplo entendimento dos riscos de se permanecer dentro do atual modelo linear, baseado na premissa de um crescimento econômico ilimitado. As perspectivas apresentadas no presente trabalho pretendem contribuir para que a Economia Circular possa se desenvolver a partir da introdução deecoinovações ao longo dos processos industriais, de modo a melhor adequar estratégias e políticas para o enfrentamento do Antropoceno.

Espera-se que o presente trabalho tenha fornecido elementos suficientes para a compreensão das inter-relações entre a ecoinovação e a economia circular. A expectativa é que esse trabalho possa ser um ponto de partida para novos estudos que aprofundem as temáticas aqui apresentadas, seja em situações específicas de países, setores industriais etc.

## REFERÊNCIAS

- Al hmeidiyeen, M.S., Innovation-Based Change Management, *European Journal of Business and Management*, ISSN 2222-2839 (Online) Vol.7, No.32, 2015.
- Balanay, R., Halog, A. Charting policy directions for mining's sustainability with circular economy. *Recycling* 1, 219–230, 2016.
- Bechtel, N.; Bojoko, R.; Völkel, R. *Be in the Lopp: Circular Economy & Strategic Sustainable Development*. Belkinge Institute of Technology, 2013.
- Bereano, P.L. *Technology as a Social and Political Phenomenon*. John Wiley & Sons, NY, 1976.
- Boons, F.; Montalvo, C.; Quist, J.; Wagner, M. Sustainable innovation, business models and economic performance: an overview *Journal of Cleaner Production* 45 (2013) 1e8, 2013.
- Bossle, M. B., Dutra De Barcellos, M., Vieira, L. M., & Sauvée, L. The Drivers for Adoption of Eco-Innovation. *Journal of Cleaner Production*, 113, 861–872. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.033>, 2016.

Carrillo-Hermosilla, J., del Río, P., Könnölä, T. Definitions of eco-innovation and sustainable innovation. *Journal of Cleaner Production* 10 (18), 1073-1083. DOI: 10.1016/j.jclepro.2010.02.014, 2010.

Corder, G.; Golev, A.; Fyfe, J.; King, S. The Status of Industrial Ecology in Australia: Barriers and Enablers. *Resources*, 3(2), 340-361. Doi:10.3390/resources3020340, 2014.

Di Maio, F.; Rem, P.C. A Robust Indicator for Promoting Circular Economy through Recycling. *Journal of Environmental Protection*, 6, 1095-1104, 2015.

Diaz-Garcia, C., Gonzalez-Moreno, A., Saez-Martinez, F. Eco-innovation: insights from a literature review. *Innov. Manag. Policy & Pract.* 17 (1), 6e23. <http://dx.doi.org/10.1080/14479338.2015.1011060>, 2015.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition. Acessado em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf> , 2013a.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION Towards the Circular Economy: Opportunities for the consumer goods sector. Acessado em: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/TCE\\_Report-2013.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/TCE_Report-2013.pdf), 2013b.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe, 2015.

European Commission Innovation for a sustainable Future - The Eco-innovation Action Plan (Eco-AP) Brussels, 15.12.2011 COM(2011) 899 final Acessado em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0899&from=EN>, 2011.

European Commission Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy . Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of The Regions, Brussels, Acessado em: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF) , 2015.

Foray, D.; Grobler, A. Technology and the Environment: An Overview *Technological Forecasting and Social Change* 53, 3-13, 1996.

Freeman, C. *Technology Policy and Economic Performance: Lessons From Japan*. Pinter Pub Ltd, London; New York, 1987.

Geng, Y., Zhu, Q., Doberstein, B., Fujita, T. Implementing China's circular economy concept at the regional level: a review of progress in Dalian, China. *Waste Manag.* 29, 996-1002. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.036>, 2009.

Geng Y., Fu J., Sarkis J., Xue B. Towards a national circular economy indicator system in China: An evaluation and 1092 critical analysis. *J. Clean. Prod.*, 23, 216-224, 2012.

Ghisellini, P., Cialani, C., Ulgiati, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *J. Clean. Prod.* 114, 11-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>, 2016.

Griggs, D.; Stafford-Smith, M.; Gaffney, O.; Rockström, J.; Öhman, M. C.; Shyamsundar, P.; Steffen, W.; Glaser, G.; Kanie, N.; Noble I. Policy: Sustainable development goals for people and planet. *Nature* 495 (7441):305-307, 2013.

Hojnik, J.; Ruzzier, M. What drives eco-innovation? A review of an emerging literature *Environmental Innovation and Societal Transitions* 19 (2016) 31-41, 2016.

- Issberner, L-R; Lená, P. Anthropocene: the vital challenges of a scientific debate In: The Unesco Currier, Abril/June, 2018.
- Issberner, L-R; Lená, P. Brazil in the anthropocene: conflicts between predatory development and environmental policies. Taylor & Francis Group, 1st Edition, 2016.
- Jawahir, I. S., & Bradley, R. Technological elements of circular economy and the principles of 6R-based closed-loop material flow in sustainable manufacturing. *Procedia Cirp*, 40, 103-108, 2016.
- Jesus, A.; Antunes, P.; Santos, R.; Mendonça, S. Eco-innovation in the transition to a circular economy: An analytical literature review. *Journal of Cleaner Production* 172 (2018) 2999e3018, 2018.
- Kammerer, D. The effects of customer benefit and regulation on environmental product innovation. *Ecological Economics*, 68, 2285–2295. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.02.016>, 2009.
- Kemp, R.; Pearson, P. Final report of the MEI Project measuring eco innovation. One Merit Maastricht, Acessado em: <http://www.merit.unu.edu/MEI/deliverables/MEI%20D15%20Final%20report%20about%20measuring%20eco-innovation.pdf>, 2007.
- Kirchherr, J.; Reike, D.; Hekkert, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions *Resources, Conservation & Recycling* 127 (2017) 221-232, 2017.
- Korhonen, J.; Honkasalo, A.; Seppälä, J. Circular Economy: The Concept and its Limitations, *Ecological Economics* 143 (2018) 37–46, 2018.
- Latouche, S. O decrescimento. Por que e como? In *Enfrentando Os Limites Do Crescimento: Sustentabilidade, Decrescimento e Prosperidade*. (1a ed.). Rio de Janeiro: Garamond, 2012.
- Little, A. D. *How Leading Companies are Using Sustainability-Driven Innovation to Win Tomorrow's Customers*, Arthur D. Little, 2005
- Matus, K.J.M., Xiao, X., Zimmerman, J.B. Green chemistry and green engineering in China: drivers, policies and barriers to innovation. *J. Clean. Prod.* 32, 193e203. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.033>, 2012.
- Mill, J. S. *Princípios de economia política: com algumas de suas aplicações à filosofia social*. São Paulo: Abril Cultural. (Os pensadores). v. 1, 1983.
- Mont, O., Plepys, A., Whalen, K., & Nußholz, J. L. K. Business model innovation for a Circular Economy: Drivers and barriers for the Swedish industry – the voice of REES companies. *Mistra REES*, 2017.
- Motta, W.H.; Issberner, L-R; Prado, P. Eco-Innovations: Kick-Starting the Circular Economy. ECSEE 2017, The European Conference on Sustainability, Energy & the Environment, 2017.
- Motta, W.H.; Issberner, L-R. Rumo à Economia Circular: Qual o Papel da Acv? Anais do VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, CBGCV, 2018.
- Mouazan, E. Understanding circular business models: drivers, obstacles and conditions towards a successful transition. MSc Degree Programme in Creative Sustainability, Master's thesis Department of Management Studies Aalto University School of Business, 2016.
- OECD Sustainable manufacturing and eco-innovation. Framework, practices and measurement. Synthesis report. Paris. <https://www.oecd.org/innovation/inno/43423689.pdf>, 2009.

OECD The future of eco-innovation: The Role of Business Models in Green Transformation. Danish Business Authority Langelinie Allé 17, Copenhagen, Denmark. Acessado em <https://www.oecd.org/innovation/inno/49537036.pdf>, 2012.

Oltra, V., Saint Jean, M. Sectoral systems of environmental innovation: an application to the French automotive industry, *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 76, pp. 567-583, 2009.

Pacheco, D.A.J.; ten Caten, C. S.; Jung, C. F.; Ribeiro, J.L.D.; Navas, H.V.G., Cruz-Machado, V.A. Eco-innovation determinants in manufacturing SMEs: Systematic review and research directions *Journal of Cleaner Production* 142 (2017) 2277e2287, 2017.

Pearce, D. W., Turner, R.K. *Economics of natural resources and environment*. Londres: Harvester Wheasheaf, 1990.

Pieroni, M.P.P.;McAloone, T.C.; Pigosso, D.C.A. Developing a process model for circular economy business model innovation within manufacturing companies. *Journal of Cleaner Production*, 0959-6526, 2021.

Pigosso, D.C.A.; McAloone, T.C. Making the transition to a Circular Economy within manufacturing companies: the development and implementation of a self-assessment readiness tool. *Sustainable Production and Consumption*, 2352-5509, 2021.

Rashid, A., Asif, F.M.A., Krajnik, P., Nicolescu, C.M. Resource conservative manufacturing: an essential change in business and technology paradigm for sustainable manufacturing. *J. Clean. Prod.* 57, 166–177. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.012>, 2013.

Rennings, K. Redefining innovation-eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics* 32 (2), 319-332. DOI: 10.1016/S0921-8009(99)00112-3, 2000.

Ritzén, S.; Sandström, G.O. Barriers to the Circular Economy – integration of perspectives and domains. The 9th CIRP IPSS Conference: Circular Perspectives on Product/Service-Systems, *Procedia CIRP* 64 ( 2017 ) 7 – 12., 2017.

Rockstrom, J.; Steffen, W., “Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity.” *Ecology and Society* 14(2): 32, 2009.

Saidani M, Yannou B, Leroy Y, Cluzel Franç, Kendall A, A taxonomy of circular economy indicators, *Journal of Cleaner Production* (2018), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.014>, 2018.

Silvestre, B.S.; Țîrcă, D.M. Innovations for sustainable development: Moving toward a sustainable future *Journal of Cleaner Production*, 2018.

Smol, M., Kulczycka, J., Avdiushchenko, A. Circular economy indicators in relation to eco-innovation in European regions *Clean Techn Environ Policy*, 19 (3), 669–678, 2017.

Stankevičienė, J., Nikanorova, M. Eco-Innovation as a Pillar for Sustainable Development of Circular Economy. Published by: Vilnius Gediminas Technical University, 2020

Tanuro, Daniel. *Green Capitalism: Why it Can*. Winnipeg: Fernwood Publishing, 2014.

Technopolis/Wuppertal Institute. *Eco-Innovation Final Report For Sectoral Innovation Watch*. Europa Innova, 2008.

van Eijk, F. *Barriers & Drivers towards a Circular Economy. Literature Review A-140315-R-Final Acceleratio B.V.*, 2015.

Veiga, J.E. da. & Issberner, L-R. Decrescer Crescendo. In Léna, P. & Nascimento, E. P. (org.), *Enfrentando os limites do crescimento: Prosperidade, decrescimento, sustentabilidade* (pp. 107-134). Rio de Janeiro: Garamond, 2012.

Vence, X.; Pereira, A. Eco-innovation and Circular Business Models as drivers for a circular economy. *Contad. Adm* vol.64 no.spe1 Ciudad de México, 2019

WORLD ECONOMIC FORUM *Towards the circular economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*, 2014.

Yuan, Z., Bi, J., Moriguchi, Y., *The circular economy: a new development strategy in China*. *J. Ind. Ecol.* 10, 4e8. <https://doi.org/10.1162/108819806775545321>, 2006.

Zattar, M.; Issberner, L.R. *Informação, conhecimento e aprendizagem na inovação aberta*. XII Enanib, Brasília – DF, 2011.

Zhijun, F., Nailing, Y., 2007. Putting a circular economy into practice in China. *Sustain. Sci.* 2, 95–101.

Zhu, Q., Geng, Y. Drivers and barriers of extended supply chain practices for energy saving and emission reduction among Chinese manufacturers. *J. Clean. Prod.* 40, 6–12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.09.017>, 2013.