

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

A eficiência e produtividade dos países do G20 em práticas da Economia Circular (EC) para a implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)

Jessica Suarez Campoli

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba
2023**

Jessica Suarez Campoli
Bacharela em Ciências Econômicas

**A eficiência e produtividade dos países do G20 em práticas da Economia Circular (EC)
para a implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)**

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:

Profa. Dra. **HELOISA LEE BURNQUIST**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Campoli, Jessica Suarez

A eficiência e produtividade dos países do G20 em práticas da Economia Circular (EC) para a implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS) / Jessica Suarez Campoli - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2023.

157 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Economia Circular 2. Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis do Milênio (ODS) 3. Países G20 4. DEA 5. SBM 6. MPI I. Título

DEDICATÓRIA

À todos meus antepassados, ao meu pai Clovis Campoli, à minha mãe Beatriz Suarez Campoli, às minhas irmãs Stephanie Suarez Campoli e Jennifer Suarez Campoli, ao Tommy (*in memoriam*) e ao Mustafá, com todo amor e carinho

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pela graça alcançada.

Aos meus Pais, Clovis e Beatriz, pela vida, por todo amor incondicional e apoio durante todos os momentos de minha vida.

Às minhas irmãs Stephanie e Jennifer, aos meus filhos de quatro patas Tommy (*in memoriam*) e Mustafá, por todo amor, companheirismo e momentos de alegrias.

Aos meus avós maternos Celin (*in memoriam*) e Benedicta (*in memoriam*), aos meus avós paternos Antônio (*in memoriam*) e Maria (*in memoriam*), e todos os meus familiares, por todo amor, carinho e incentivo.

À minha Orientadora Prof^a. Dr^a. Heloisa Lee Burnquist, pela excelente orientação, pela dedicação, respeito e amizade a mim dispensados sempre.

Aos membros da banca Pedro Valentim Marques, Paulo Nocera Alves Junior e Guilherme Augusto Roiz pela amizade, pelo apoio e pelas valiosas contribuições oferecidas para realização desta Tese.

Aos Professores e Funcionários do Departamento de Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), pelo apoio e amizade.

Aos Amigos e Colegas que contribuíram direta ou indiretamente para o sucesso na realização deste trabalho e fizeram parte desta etapa da minha vida, os meus mais sinceros agradecimentos. Especialmente para Tatiana Kimura, Wilson Zambianco, Felipe Gurgel e Derick Quintino.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro durante todo o período do doutorado.

EPIGRAFE

*“Mas em todas estas coisas somos mais
que vencedores, por meio daquele que
nos amou” (Romanos 8:37).*

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Estrutura do trabalho.....	17
1.2 Justificativa e hipótese	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS), <i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA) e <i>Malmquist Productivity Index</i> (MPI).....	24
2.2 Economia Circular (CE) e <i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA) e <i>Malmquist Productivity Index</i> (MPI).....	31
3 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO MILÊNIO (ODS) E ECONOMIA CIRCULAR (CE).....	37
3.1 Contextualização.....	37
3.2 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)	41
3.3 Economia Circular e suas dimensões.....	45
3.4 Economia Circular como estratégia para a realização dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio	49
4 MÉTODO DE PESQUISA.....	55
4.1 <i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA)	55
4.2 <i>Malmquist Productivity Index</i> (MPI).....	60
4.3 Validação econométrica.....	64
4.4 Seleção das variáveis	65
4.4.1 Variáveis selecionadas para o 6º ODS (Água Potável e Saneamento)	68
4.4.2 Variáveis selecionadas para o 7º ODS (Energia Limpa e Acessível).....	71
4.4.3 Variáveis selecionadas para o 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis)	74
4.4.4 Variáveis selecionadas para o 15º ODS (Vida Terrestre).....	78
4.5 Estratégia empírica	81
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	83
5.1 Eficiência e produtividade para o 6º ODS: Água Potável e Saneamento	83
5.2 Eficiência e produtividade para o 7º ODS: Energia Limpa e Acessível.....	90
5.3 Consumo e Produção Responsáveis: 12º ODS	96
5.4 Vida Terrestre: 15º ODS.....	102
5.5 Síntese dos modelos de eficiência e produtividade	110

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	119
REFERÊNCIAS.....	123
APÊNDICE.....	139
ANEXO.....	149

RESUMO

A eficiência e produtividade dos países do G20 em práticas da Economia Circular (EC) para a implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)

Os desequilíbrios ambientais decorrentes do atual modelo socioeconômico, que promove a exploração e degradação de recursos naturais, abre portas para novos paradigmas condizentes com o desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, surgiu o conceito de Economia Circular (EC), que consiste em um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que preserva e valoriza o capital natural. Além disso, as práticas da EC – em seu nível macro - podem impactar diretamente o progresso dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS). Diante desse cenário, o objetivo geral deste trabalho consiste em mensurar a eficiência e produtividade dos países do G20 - Argentina, Austrália, Brasil, Canadá, China, França, Alemanha, Índia, Indonésia, Itália, Japão, Coreia do Sul, Rússia, Estados Unidos, México, Arábia Saudita, África do Sul, Turquia, Reino Unido - em práticas da Economia Circular para o progresso na realização de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS). Baseado em Schroeder et al. (2019), foram elaborados quatro modelos de eficiência e produtividade, em que variáveis relacionadas à EC são identificadas como fator causal de variáveis representativas dos ODS selecionados. Aplicou-se a Análise Envoltória de Dados (DEA) – modelo *Slack-Based Measure* (SBM) para mensurar a eficiência e o *Malmquist Productivity Index* (MPI) para determinar a produtividade. Os resultados sugerem que os países do G20, quando considerados conjuntamente, apresentaram perda de eficiência e de produtividade. Uma possível explicação para tal observação é que os recursos naturais têm sido consumidos em maior intensidade enquanto as melhorias tecnológicas necessárias para aumento da produtividade ainda não demonstraram ser suficientes para compensar a pressão de demanda. Para o modelo referente ao 6º ODS (Água Potável e Saneamento), os países eficientes, no período de 2010 a 2019, foram Alemanha, Austrália, Reino Unido, África do Sul, Arábia Saudita, Brasil e Índia. Aqueles com os maiores escores de produtividade foram Alemanha, Canadá, França e Reino. A queda da eficiência e produtividade observada para todos os países pode ser devido à demanda por água potável e saneamento em maior escala que a proporcionada pela adoção de novas tecnologias. Referente ao modelo do 7º ODS (Energia Limpa e Acessível), os países eficientes no período de 2010 a 2019 foram: Coreia do Sul, África do Sul, Argentina, Brasil e Índia. Aqueles com os maiores escores de produtividade foram África do Sul, Índia e Indonésia. As perdas da eficiência e produtividade podem ser explicadas pela pressão por energia e eletricidade em um ritmo mais acelerado do que o desenvolvimento de tecnologias de energia renovável ou para outras formas de energia limpa acessível. Em relação ao 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis), os países eficientes no período de 2017 e 2019, foram Austrália, Canadá, Itália, Argentina e Brasil. Países com maiores escores de produtividade foram: Alemanha, Reino Unido, França, Itália, Japão, Coreia do Sul e Estados Unidos. Nesse modelo, os países mostraram uma redução na eficiência, porém ganhos de produtividade relacionados com o desenvolvimento de tecnologias. Por fim, para o 15º ODS (Vida Terrestre), os países eficientes no período de 2016 a 2019, foram: Alemanha, Coreia do Sul, França, Itália, Reino Unido, África do Sul, Argentina, Brasil, Indonésia e Turquia. Aqueles com os maiores escores de produtividade foram Alemanha, Coreia do Sul, Estados Unidos, Itália, Japão, Reino Unido, Argentina e China. O decréscimo da eficiência e produtividade indica que os recursos relacionados com a Vida Terrestre podem estar sendo consumidos de uma maneira mais acentuada que a capacidade e implementação de tecnologias para mantê-los. Os países considerados eficientes podem servir de *benchmarkings* para os demais em identificar práticas da EC que podem contribuir para a realização dos ODS, além de subsidiar políticas governamentais e estratégias da agenda ambiental a nível mundial.

Palavras-chave: Economia circular, Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis do Milênio (ODS), Países G20, DEA, SBM, MPI

ABSTRACT

The efficiency and productivity of G20 countries in Circular Economy (CE) practices for the implementation of the Millennium Sustainable Development Goals (SDGs)

Environmental imbalances resulting from the current socioeconomic model, which promotes the exploitation and degradation of natural resources, opens doors to new paradigms consistent with sustainable development. In this context, the concept of Circular Economy (CE) emerged, which consists of a continuous cycle of positive development that preserves and values natural capital. Furthermore, CE practices – at its macro level – can directly impact the progress of the Millennium Sustainable Development Goals (SDGs). Given this scenario, the general objective of this work is to measure the efficiency and productivity of the G20 countries - Argentina, Australia, Brazil, Canada, China, France, Germany, India, Indonesia, Italy, Japan, South Korea, Russia, United States United States, Mexico, Saudi Arabia, South Africa, Turkey, United Kingdom - in Circular Economy practices for progress in achieving the Millennium Sustainable Development Goals (SDGs). Based on Schroeder et al. (2019), four models of efficiency and productivity were developed, in which EC-related variables are identified as a causal factor of variables representative of the selected SDGs. Data Envelopment Analysis (DEA) – Slack-Based Measure (SBM) model was applied to measure efficiency and the Malmquist Productivity Index (MPI) to determine productivity. The results suggest that the G20 countries, when considered together, showed a loss of efficiency and productivity. A possible explanation for this observation is that natural resources have been consumed more intensively while the technological improvements needed to increase productivity have not yet proven to be sufficient to compensate for the demand pressure. For the model referring to the 6th SDG (Clean Water and Sanitation), the efficient countries, in the period from 2010 to 2019, were Germany, Australia, United Kingdom, South Africa, Saudi Arabia, Brazil and India. Those with the highest productivity scores were Germany, Canada, France and the United Kingdom. The drop in efficiency and productivity observed for all countries may be due to the demand for potable water and sanitation on a larger scale than that provided by the adoption of new technologies. Referring to the model of the 7th SDG (Affordable and Clean Energy), the efficient countries in the period from 2010 to 2019 were: South Korea, South Africa, Argentina, Brazil and India. Those with the highest productivity scores were South Africa, India and Indonesia. The efficiency and productivity losses can be explained by the pressure for energy and electricity at a faster pace than the development of renewable energy technologies or for other forms of affordable clean energy. Regarding the 12th SDG (Responsible Consumption and Production), the efficient countries in the period 2017 and 2019 were Australia, Canada, Italy, Argentina and Brazil. Countries with the highest productivity scores were: Germany, United Kingdom, France, Italy, Japan, South Korea and the United States. In this model, countries showed a reduction in efficiency, but productivity gains related to the development of technologies. Finally, for the 15th SDG (Life on Land), the efficient countries in the period from 2016 to 2019 were: Germany, South Korea, France, Italy, United Kingdom, South Africa, Argentina, Brazil, Indonesia and Turkey. Those with the highest productivity scores were Germany, South Korea, United States, Italy, Japan, United Kingdom, Argentina and China. The decrease in efficiency and productivity indicates that resources related to terrestrial life may be being consumed in a more accentuated way than the capacity and implementation of technologies to maintain them. Countries considered efficient can serve as benchmarkings for others in identifying CE practices that can contribute to the achievement of the SDGs, in addition to subsidizing government policies and strategies of the environmental agenda worldwide.

Keywords: Circular economy, Sustainable Development Goals (SDG), DEA, SBM, MPI

1 INTRODUÇÃO

Os desequilíbrios ambientais decorrentes do atual modelo socioeconômico, que promove a exploração e degradação de recursos naturais, abre portas para novas alternativas condizentes com o desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, questionamentos sobre a capacidade global de suportar essa dinâmica socioeconômica levaram a reflexões e à busca de alternativas para um desenvolvimento mais sustentável.

Pioneiros sobre essa temática, Meadows et al. (1972) apontaram que devido ao crescimento populacional e ao aumento do consumo, a demanda por recursos naturais intensificou-se rapidamente, exigindo mudanças para se tornarem mais eficientes e sustentáveis com a finalidade de atender às necessidades de consumo sem deteriorar o meio ambiente.

Em acordo com esse contexto, a “*World Commission on Environment and Development*”, promulgou a definição mais aceita de desenvolvimento sustentável como a capacidade de atender às necessidades básicas da geração atual sem comprometer o consumo e sobrevivência das gerações futuras. Isso significa que a economia global deve ser capaz de combater a fome, assegurando condições mínimas de atenção à saúde, higiene e educação, sem comprometer as necessidades das gerações futuras (ONU, 1987).

As discussões relacionadas aos desafios globais enfrentados para a promoção do desenvolvimento sustentável têm ganhado cada vez mais visibilidade. Nesse cenário é que foram elaborados primeiramente os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) apresentados na Cúpula do Milênio de 2000 pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2000). Nesse evento, a Declaração do Milênio obteve mais de 191 países adeptos que formalizaram seu compromisso para avançar no cumprimento dos ODM até 2015, para promover um mundo melhor. Os ODM foram: 1) Erradicar a Extrema Pobreza e Fome, 2) Atingir o Ensino Primário Universal, 3) Promover a Igualdade entre os Sexos e a Autonomia das Mulheres, 4) Reduzir a Mortalidade Infantil, 5) Melhorar a Saúde Materna, 6) Combater HIV/AIDS (*Human Immunodeficiency Virus/ Acquired Immunodeficiency Syndrome*), Malária e outras doenças, 7) Garantir a Sustentabilidade Ambiental e 8) Estabelecer uma Parceria Global para o Desenvolvimento (ONU, 2000).

Os oito ODM estabelecidos anteriormente, foram atualizados em 2015 e se transformaram em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com agenda para serem atingidos até 2030. Os ODS passaram a compreender: 1) Erradicação da Pobreza; 2) Fome Zero e Agricultura Sustentável; 3) Saúde e Bem-estar; 4) Educação de Qualidade; 5) Igualdade de Gênero; 6) Água Potável e Saneamento; 7) Energia Limpa e Acessível; 8)

Trabalho Decente e Crescimento Econômico; 9) Indústria, Inovação e Infraestrutura; 10) Redução das Desigualdades; 11) Cidades e Comunidades Sustentáveis; 12) Consumo e Produção Responsáveis; 13) Ação Contra a Mudança Global do Clima; 14) Vida na Água; 15) Vida Terrestre; 16) Paz, Justiça e Instituições Eficazes; e 17) Parcerias e Meios de Implementação (ONU, 2015).

Para promover o desenvolvimento sustentável alinhado com os ODS, uma proposta possível é a evolução da sustentabilidade por meio da reestruturação das atividades econômicas lineares em um modelo circular, priorizando a redução, reutilização e reciclagem de recursos. Surgiu assim o conceito de Economia Circular (EC), que consiste em um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que preserva e valoriza o capital natural, otimiza a produção de recursos e minimiza riscos sistêmicos, gerenciando estoques finitos e fluxos renováveis, visando manter os produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor ao longo do tempo (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2022).

De acordo com Lieder e Rashid (2016), a Economia Circular foi conceituada considerando que o crescimento econômico leva à degradação ambiental e a uma exploração dos recursos naturais, reduzindo o capacidade reprodutiva da biosfera. Stahel (1982), define a EC como um sistema ciclo-espiral que minimiza o fluxo de recursos, energia e deterioração do meio ambiente, sem restringir o crescimento econômico ou o progresso social.

O conceito de Economia Circular ganha cada vez mais visibilidade ao ser visto como uma solução para equilibrar e direcionar medidas de crescimento sustentável com a finalidade de ajudar a superar desafios ambientais como ciclo de vida de recursos, gerenciamento de resíduos e proteção ambiental (LIEDER e RASHID, 2016).

A Economia Circular pode ser classificada em três níveis: micro (a nível de empresa), meso (a nível interempresarial e/ou parques eco industriais) e macro (a nível municipal, estadual ou nacional) (YUAN et al., 2006). Para a sua implementação em larga escala, faz-se necessária a cooperação de todas as partes interessadas, inclusive dos formuladores de políticas ambientais (LIEDER e RASHID, 2016). Segundo Schroeder et al. (2019), a EC vem ganhando espaço para contribuir com a sustentabilidade local, nacional e global.

Em relação ao cenário pós-pandemia, a EC pode ganhar espaço para auxiliar no desenvolvimento de uma economia de baixo carbono e mais resiliente (IBN-MOHAMMED et al., 2021). Wegge (2020) argumenta que a implementação de uma EC tornaria o modelo produtivo mais resiliente a interrupções globais de fornecimento – como no cenário da pandemia da COVID-19 - e ajudaria a alcançar os ODS. A transição para uma EC tem capacidade de criar 700.000 empregos até 2040, diminuir as emissões de gases de efeito estufa

em 25% e economizar US\$ 200 bilhões por ano (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020).

A nível macro, Schroeder et al. (2019) investigaram práticas de EC que podem contribuir para alcançar os ODS. Os autores identificaram que a EC impacta diretamente a realização dos seguintes ODS: 6º (Água Potável e Saneamento), 7º (Energia Limpa e Acessível), 8º (Trabalho Decente e Crescimento Econômico), 12º (Consumo e Produção Responsáveis) e 15º (Vida Terrestre). De acordo com Rodriguez-Anton et al. (2019), verificou-se que existe uma clara relação entre a EC e os ODS, inclusive entre alguns indicadores de EC e o valor médio do cumprimento dos ODS nos países europeus, que podem atingir os ODS desejados, implementando iniciativas que tendem a tornar a economia mais circular.

Associado ao contexto apresentado e à atividade econômica mundial, o Grupo dos 20 (G20), correspondente às 19 maiores potências econômicas do mundo - Argentina, Austrália, Brasil, Canadá, China, França, Alemanha, Índia, Indonésia, Itália, Japão, Coreia do Sul, Rússia, Estados Unidos, México, Arábia Saudita, África do Sul, Turquia, Reino Unido - mais a União Europeia, foram responsáveis por 95,03% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial e 65,32% da população mundial, em 2021 (WORLD BANK, 2022a).

De acordo com Von Braun et al. (2017), no que diz respeito ao aumento da eficiência econômica de recursos sustentáveis, água e terra, os países do G20 serão os principais impulsionadores do crescimento e mudança da demanda por alimentos. Sendo assim, um aspecto de grande interesse é a importância dos países do G20 quanto à produção, consumo e potencial de geração energética, que refletem não apenas um forte impacto na conservação de recursos, mas também podem ser consideradas *benchmarks* para outros países implementarem medidas vinculadas à Economia Circular.

Combinando as questões dos ODS com o G20, Steiner (2020) reconheceu o declínio e atrasos causados aos ODS por causa da pandemia de COVID-19, mas destacou o papel importante do G20 como incentivador para auxiliar no alcance das metas dos ODS, devido à sua significativa capacidade de crescimento econômico global e à necessidade de enfrentar os desafios ocasionados pela pandemia.

Sendo assim, a despeito da importância desse grupo de países, existem aspectos a serem explorados, tais como as políticas de desenvolvimento sustentável (geração de resíduos, energia limpa, uso do solo, mitigação do CO₂, trabalho decente, conservação ambiental) a nível de países, que afetam a eficiência do G20 frente aos ODS. Tal avaliação pode ser conduzida sob a ótica da Economia Circular, por meio da Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* - DEA) determinada pelo modelo *Slacks-Based Measure* (SBM) com retornos

variáveis de escala, orientado ao *output*. Apesar de haver vários trabalhos analisando a eficiência em relação ao desenvolvimento sustentável de vários países, conforme se discute no Capítulo 2, um estudo empregando o Modelo DEA-SBM e *Malmquist Productivity Index* (MPI) do G20 deve auxiliar a identificação de *benchmarkings* e proporcionar informações para a tomada de decisão pelas partes interessadas em implementar iniciativas de EC que contribuem para os ODS, como o setor público, privado e sociedade civil (JALALI SEPEHR et al., 2019; ROY et al., 2021; KIANI MAVI et al., 2022; KOÇAK et al., 2021; VAN SONG et al., 2021; ZHU e ZHANG, 2021; NGOBENI e BREITENBACH, 2021; SU e CHEN, 2021; HALKOS e PETROU, 2019; LI et al., 2020; LU et al., 2020; BAGHERI, 2021).

A literatura relacionada suscita interesse na identificação dos países do G20 mais alinhados com práticas da EC que podem contribuir para o cumprimento dos ODS, assim como os mais distantes da fronteira de eficiência; ou seja, países que têm espaço para melhorar seu desempenho utilizando a mesma quantidade de recursos. Isso é relevante para categorizar os países em termos desse desempenho, além de estabelecer uma possível medida de *benchmark* para os demais países, possibilitando a investigação de políticas que estimulem uma melhor performance. A partir dessa identificação, procede-se à investigação de maneiras – por exemplo, estudo de caso - para estimular países em direção ao *benchmark*, bem como aqueles que desestimulam o referido desempenho. Além disso, a importância do G20 na economia global determina que diferentes políticas de desenvolvimento sustentável adotadas, não necessariamente em conjunto, mas elaboradas por cada país são fundamentais para o cumprimento de metas globais.

A partir do exposto, sob a ótica do nível macro da EC – baseado em Schroeder et al. (2019), o objetivo geral deste trabalho consiste em mensurar a eficiência e produtividade dos países do G20 em práticas da Economia Circular para o progresso na realização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio. A eficiência será determinada pelo modelo DEA-SBM (*Data Envelopment Analysis - Slacks-Based Measure*) e a produtividade pelo *Malmquist Productivity Index* (MPI), para o período de 2010-2019. Os **objetivos específicos** do trabalho compreendem:

- a) Analisar e validar a relação das variáveis selecionadas como *inputs* e *outputs*, por meio de ferramenta econométrico. Tais variáveis são relacionadas aos modelos de eficiência e produtividade dos seguintes ODS: 6º Água Potável e Saneamento; 7º Energia Limpa e Acessível; 12º Consumo e Produção Responsáveis, e 15º Vida Terrestre, conforme apresentado por Schroeder et al. (2019);
- b) Elaborar modelos de eficiência e produtividade para os ODS citados, que avaliem

a eficiência e produtividade dos países do G20 em converter práticas da EC para o progresso na realização desses ODS;

- c) Aplicar a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* - DEA) e a Análise de Janela (*Window Analysis*) em cada modelo elaborado para mensurar a eficiência e o *Malmquist Productivity Index* (MPI) para medir a evolução da produtividade.

1.1 Estrutura do trabalho

Este documento compõe-se de cinco capítulos, além da presente introdução. O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre os ODS, Economia Circular e análises do tipo DEA e MPI que auxiliam não apenas a compreensão dos conceitos, como levam à seleção das variáveis a serem analisadas para caracterizar o desempenho dos países em relação à eficiência relativa e produtividade. O Capítulo 3 mostra o contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio e da Economia Circular. O Capítulo 4 descreve o método de pesquisa que fundamenta o emprego do procedimento selecionado para proceder à validação econométrica e às análises de eficiência e produtividade. Esse capítulo também apresenta e explica a seleção das variáveis e da base de dados. O Capítulo 5 apresenta os resultados e discussões dos modelos de eficiência e produtividade, oferecendo uma interpretação que possa servir de base para o desenvolvimento de medidas políticas para facilitar o processo de aceleração da eficiência e produtividade em direção das metas de ODS citados (6º Água Potável e Saneamento; 7º Energia Limpa e Acessível; 12º Consumo e Produção Responsáveis, e 15º Vida Terrestre) baseados em práticas da Economia Circular. Por fim, o Capítulo 6 discorre sobre as considerações finais. O Quadro 1 sistematiza a estrutura do trabalho por seção.

Quadro 1 - Sistematização da estrutura do trabalho por seção

Estrutura	Descrição
1. INTRODUÇÃO	Esta seção apresenta uma contextualização de desenvolvimento sustentável, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS) e Economia Circular (EC). Além disso, cita o método utilizado DEA-SBM e MPI. E, por fim, discorre sobre os objetivos a serem alcançados.
2. REVISÃO DE LITERATURA	A seção “Revisão de literatura” aborda os principais estudos que serviram como fundamentação teórica para a pesquisa, sendo dividida em duas partes. Na primeira seção são apresentados os principais estudos que abordam os ODS e as ferramentas DEA e MPI. A segunda seção apresenta trabalhos a EC combinados com a aplicação da DEA e MPI.
3. OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO MILÊNIO E ECONOMIA CIRCULAR	A seção intitulada de “Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio e Economia Circular” discorre sobre uma contextualização dos principais problemas enfrentados pela humanidade fundamento no desenvolvimento sustentável. Em seguida, aborda-se sobre a relação dos ODS e EC, destacando principalmente o estudo de Schroeder et al. (2019), o qual foi utilizado como fundamentação teórica para a elaboração dos modelos de eficiência e produtividade desenvolvidos na presente tese.
4. MÉTODO DE PESQUISA	O método de pesquisa descreve os métodos utilizados para alcançar os objetivos da pesquisa, bem como as variáveis selecionadas. Essa seção foi dividida em cinco partes. A primeira diz respeito a definição da DEA, destacando o modelo SBM. Em seguida foi apresentando o MPI. Na sequência apresentou-se a validação econométrica aplicada entre <i>inputs</i> e <i>outputs</i> dos modelos de eficiência e produtividade. Além disso, foram apresentadas as variáveis selecionadas para serem aplicadas nos quatro modelos desenvolvidos para os seguintes ODS: 6º (Água Potável e Saneamento), 7º (Energia Limpa e Acessível), 12º (Consumo e Produção Responsáveis) e 15º (Vida Terrestre). Por fim, é apresentada a estratégia empírica de cada etapa a ser realizada.
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	A seção de “Resultados e discussões” apresenta resultados da aplicação da DEA que demonstra os escore de eficiência. Além disso, por meio do MPI foram apresentados os escores de produtividade a partir de análises longitudinais específicas de cada modelo.
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	Nesta última seção de “Considerações finais” apresentam-se alguns pontos gerais da pesquisa desenvolvida e algumas considerações finais com sugestões para elaboração de trabalhos futuros, levando em consideração os resultados desenvolvidos ao longo do processo de elaboração desta tese.

Fonte: Elaboração própria.

1.2 Justificativa e hipótese

Em relação ao ambiente acadêmico, Merli et al. (2018) argumentaram que o conceito de EC ainda está em evolução e demanda aprofundamento de estudos para consolidar sua definição, limites, princípios e práticas associadas. Dessa forma, as pesquisas devem ser direcionadas a uma combinação de esferas atreladas às pressões sociais, institucionais e de abrangência mundial, ou seja, ao nível macro de atuação da EC, como proposto nesta pesquisa.

A literatura relacionada às práticas da Economia Circular nas esferas dos ODS precisa ser melhorada. Merli et al. (2018) destacaram que poucas pesquisas de EC são direcionadas às temáticas sociais e desenvolvimento sustentável, pois há lacunas em se reconhecer, com mais amplitude, as implicações sociais de um sistema circular. Nesse sentido, um dos grandes desafios da comunidade científica é desenvolver estudos que envolvam práticas da Economia Circular com temas macros, ou seja, de abrangência mundial como os ODS.

De acordo com Harris et al. (2021), a abrangência da EC engloba sua relação de atividades econômicas com o desempenho ambiental, mas são poucos os estudos que comparam indicadores de circularidade dos recursos da economia com o desempenho ambiental e políticas de desenvolvimento sustentável.

Nesse contexto, em relação ao nível macro da EC, Schroeder et al. (2019) identificaram práticas da EC para alcançar os ODS, além de argumentar que pesquisas empíricas são necessárias para identificar parcerias e meios de implementação que podem contribuir para a execução da EC no contexto dos ODS.

Com a finalidade de atender ao objetivo principal proposto, foi formulada a seguinte hipótese: as práticas de Economia Circular colaboram para alcançar o progresso na realização dos ODS, versus a alternativa de que estas são autossuficientes. Para rejeitar ou não tal hipótese, foram selecionados os ODS indicados por Schroeder et al. (2019), em que as práticas de EC impactam diretamente a realização dos seguintes ODS: 6º (Água Potável e Saneamento), 7º (Energia Limpa e Acessível), 8º (Trabalho Decente e Crescimento Econômico), 12º (Consumo e Produção Responsáveis) e 15º (Vida Terrestre). Dessa forma, para a validação da hipótese principal foram analisados alguns pontos para aceitar ou rejeitar tal hipótese: *i*) seleção das variáveis com base na revisão da literatura do Capítulo 2, além do banco de dados de indicadores dos ODS da Divisão de Estatística das Nações Unidas (UN Stats, 2022) e no Relatório de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2023); *ii*) disponibilidade de dados para o G20, dando-se preferência aos períodos mais atualizados com base de dados padronizada; *iii*) validação econométrica dos *outputs* em relação aos *inputs*; *iv*) elaboração dos modelos de eficiência para cada ODS citado; e *v*) elaboração do modelo de produtividade cada ODS citado. A Figura 1 ilustra a hipótese principal da tese e os pontos para a validação da hipótese.

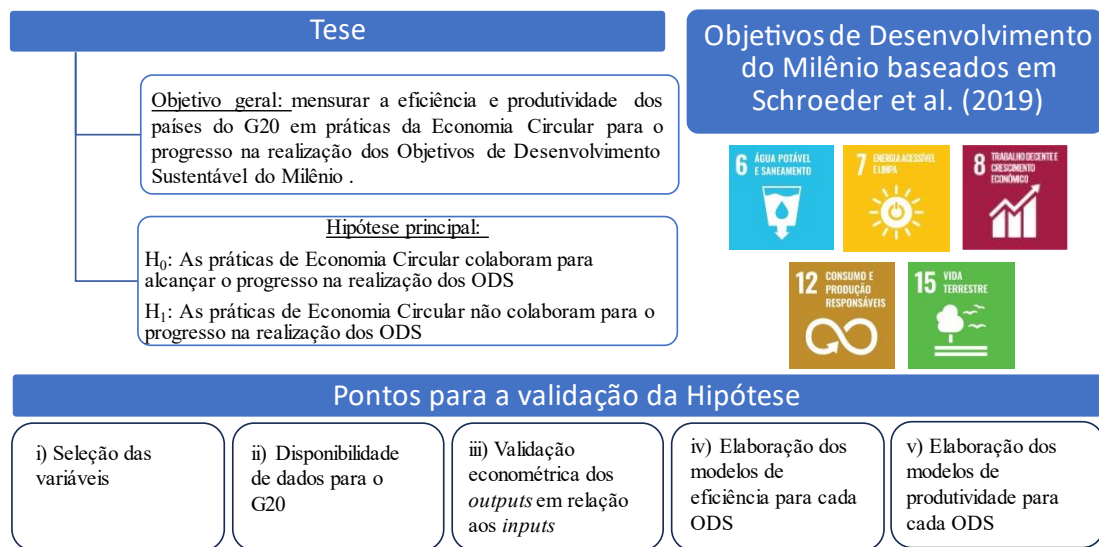


Figura 1. Hipótese principal da tese e os pontos para a validação da hipótese

Fonte: Elaborado pela autora

Partindo dessa constatação, ao se identificar práticas de EC e conectá-las aos ODS, que têm em seu cerne questões de desenvolvimento sustentável, é possível desenvolver indicadores, como por exemplo, de eficiência e produtividade, baseados em práticas da EC associadas aos ODS.

Muitos estudos têm utilizado a DEA e MPI para desenvolver indicadores de eficiência e evolução da produtividade associados aos ODS e EC, como apresentado no Capítulo 2. Esses métodos se configuram como ferramentas consolidadas para a elaboração de indicadores de eficiência e produtividade para análise de sistemas produtivos em diversas dimensões como políticas públicas; nesse caso, relacionadas às práticas da Economia Circular, que podem contribuir para o alcance dos ODS.

No presente trabalho, cada modelo de eficiência e produtividade a ser desenvolvido – levando em consideração os seguintes ODS: 6º Água Potável e Saneamento; 7º Energia Limpa e Acessível; 12º Consumo e Produção Responsáveis, e 15º Vida Terrestre -, tem a finalidade de gerar um *ranking* que permita a avaliação do nível de eficiência e produtividade dos países do G20.

Esses resultados podem ser empregados para identificar os *benchmarks* e melhores práticas para a evolução nesses indicadores. Os países eficientes podem indicar medidas e estratégias políticas gerenciais, que apoiem a incorporação de práticas de EC, bem como garantir seu monitoramento global para medir se as ações implementadas ao longo do tempo

são adequadas e eficientes para alcançar a EC e o desenvolvimento sustentável, assim como as metas dos ODS.

Em relação ao ambiente prático, pesquisas desta natureza, referentes à eficiência de políticas públicas, podem proporcionar informações relevantes para auxiliar o planejamento e o processo de tomada de decisão em diferentes esferas sejam de dimensão da gestão pública, iniciativa privada e até a sociedade civil. Para responder a esses desafios, o desenho de caminhos específicos – desempenho de um país ou políticas que estejam sendo bem-sucedidas – pode contribuir para atingir o desenvolvimento sustentável e implementação da EC em uma amplitude global, com o envolvimento e compromisso da comunidade mundial e realizada de forma integrada, como proposto pelos ODS.

Em relação à contribuição do presente trabalho pode-se destacar o objetivo de abranger os quatro ODS citados (7º, 6º, 12º e 15º) – baseado em Schroeder et al. (2019) - de uma forma mais aprofundada. Referente ao contexto geográfico a presente pesquisa irá abranger o G20, um grupo importante para direcionar as políticas de desenvolvimento sustentável para o mundo. No que diz respeito ao método, será feita uma combinação de econometria para validação das variáveis de *inputs* e *outputs*, a aplicação do modelo DEA-SBM (Tone, 2001) e o MPI espelhado no SBM com retornos variáveis de escala, baseado em Tone e Tsutsui (2017), ainda pouco explorado na literatura. E, por fim, um período de análise mais atual de 2010 a 2019.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta a revisão da literatura que trata de aspectos importantes para a compreensão dos objetivos geral e específicos estabelecidos para o trabalho no Capítulo 1. O item 2.1 apresenta estudos relacionados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio que utilizaram a DEA, o mesmo método a ser aplicado nesta tese. O item 2.2 apresenta estudos voltados à Economia Circular, que utilizaram a DEA.

A presente pesquisa utilizou o método de Revisão Sistemática de Literatura (RSL). Sampaio e Mancini (2007), definem a RSL como uma pesquisa estruturada, baseada na organização de fonte de dados provenientes da literatura disponível sobre uma determinada área de conhecimento. Thomas et al. (2012) argumentam que a RSL requer a identificação de um problema de pesquisa claro, associado a critérios de seleção bem definidos para desenvolver uma conclusão baseada no material selecionado. O presente estudo conduziu a RSL considerando as seguintes etapas:

a) Identificação do problema: a RSL elaborada buscou por pesquisas relacionando os conceitos dos ODS, Economia Circular, DEA e MPI.

b) Seleção da base de dados: buscando alcançar elevado fator de impacto de publicação e abrangência internacional, foi utilizada a base de dados Scopus¹ como para selecionar os estudos.

c) Definição de palavras-chave: para todos os filtros não houve restrição à área de pesquisa, sendo selecionados apenas artigos de periódicos a partir do ano de 2017. A Tabela 1 apresenta as palavras-chaves empregadas em cada item deste capítulo, o número de artigos encontrados e os selecionados.

Tabela 1. Palavras-chaves empregadas para a seleção de artigos.

Item	Combinação de palavras-chave
2.1	<i>Sustainable Development Goals (SDG) x Data Envelopment Analysis (DEA)</i> <i>Sustainable Development Goals (SDG) x Malmquist Productivity Index (MPI)</i>
2.2	<i>Circular Economy (CE) x Data Envelopment Analysis (DEA)</i> <i>Circular Economy (CE) x Malmquist Productivity Index (MPI)</i>

Fonte: Elaboração própria.

¹ Disponível em: www.scopus.com

d) Seleção dos artigos: foram selecionados artigos completos, disponíveis para *download*, e em língua inglesa, com contribuição tanto no que se refere às questões teóricas, como empíricas para a condução da análise.

A RSL foi realizada em fevereiro de 2022 e procurou identificar a aplicação dos modelos DEA às unidades administrativas, que podem ser referentes a: países, estados, municípios, províncias ou regiões, em conformidade com a proposta desta pesquisa que visa fazer uma análise a nível macro – baseado em Schroeder et al. (2019) - da EC, ODS e G20. Ressalta-se que os trabalhos podem servir como fundamentação teórica para: a) a construção de indicadores para EC e o desenvolvimento sustentável; b) a avaliação da “eficiência ambiental” do desenvolvimento sustentável, que é a transformação de recursos produtivos ou ambientais em aspectos econômicos, sociais e ambientais – como poluição; c) a avaliação de políticas públicas voltadas para o meio ambiente, e d) a identificação de *benchmarkings*.

2.1 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS), *Data Envelopment Analysis* (DEA) e *Malmquist Productivity Index* (MPI)

O cruzamento das palavras-chaves “*Sustainable Development Goals (SDG) x Data Envelopment Analysis (DEA)*” resultou em um total de 163 artigos. Em relação ao cruzamento das palavras-chaves chaves “*Sustainable Development Goals (SDG) x Malmquist Productivity Index (MPI)*” o resultado foi de 21 artigos. A partir dos quais foram selecionados aqueles que compreenderam as análises de eficiência voltadas aos seguintes ODS: 6º: Água Potável e Saneamento; 7º: Energia Limpa e Acessível; 8º: Trabalho Decente e Crescimento Econômico; 12º: Consumo e Produção Responsáveis, e 15º: Vida Terrestre. Não foi encontrado nenhum trabalho relacionado ao 8º ODS na literatura consultada. Como resultado dessa etapa, 23 trabalhos foram selecionados, tendo suas informações sintetizadas no Quadro 10, disponibilizado no Apêndice A.

Em relação ao 6º ODS (Água Potável e Saneamento), Ngobeni e Breitenbach (2021) determinaram a eficiência de concessionárias de água na África do Sul para 2018- 2019. Constatou-se que a eficiência média atingiu 49% e que os altos níveis de ineficiência eram causados pelo elevado gasto operacional, sendo importante medir a eficiência de serviços públicos com a maior precisão possível para informar a gestão pública. Os autores destacaram que as DMUs (*Decision Making Units*) eficientes podem servir como *benchmarkings* para as demais melhorarem suas performances.

Tourinho et al. (2022) avaliaram a evolução da produtividade dos serviços de abastecimento de água e saneamento nos municípios brasileiros no período 2012 a 2019, por meio do MPI. A amostra utilizada é um painel balanceado de 283 grandes municípios de todas as macrorregiões brasileiras. Verificou-se uma perda de produtividade de aproximadamente 4% em nível nacional, com perfil desigual entre as macrorregiões, em que a Região Sudeste se destaca com níveis de produtividade superiores aos municípios do Sul e do Nordeste. Os autores argumentaram que o Brasil precisa investir em infraestrutura para ampliar a cobertura de serviços e promover esforços para aumentar a produtividade dos serviços públicos para reduzir as diferenças regionais por meio de políticas equilibradas e igualitárias

Sobre o contexto industrial, Chen et al. (2018) avaliaram a eficiência ambiental do sistema de água das indústrias de 30 regiões da China para o ano de 2015. Observou-se que ao se buscar excessivamente a eficiência do desenvolvimento econômico pode-se prejudicar a proteção ambiental, por exemplo, ter o objetivo de maximizar o PIB pode levar ao aumento de geração de resíduos. Os autores sugeriram que a coordenação entre desenvolvimento econômico e proteção ambiental é o principal modo de desenvolvimento sustentável, além de ser necessário acelerar a introdução de tecnologias. Este fato também condiz com Ngoben e Breitenbach (2021), que ressaltaram a importância da adoção de tecnologias de gestão de água tecnicamente eficientes para atender os ODS.

Em relação à energia e ao 7º ODS (Energia Limpa e Acessível), Zhu e Zhang (2021), assim como Chen et al. (2018), determinaram a eficiência da estrutura industrial de 30 províncias para o ano de 2018, buscando avaliar a coordenação da economia e meio ambiente, dos setores de agricultura, silvicultura, pecuária, pesca, construção civil e transportes. Verificou-se que a estrutura industrial conseguiu atingir crescimento econômico com a redução de energia e de emissões de GEE.

Jalali Sepehr et al. (2019) estimaram a eficiência energética de 132 países para 2007-2014. Notou-se que países em desenvolvimento (com um nível de renda mais baixo) apresentaram altas pontuações de eficiência devido ao consumo de energia renovável e a produtividade energética, mas ainda poderiam usar seu orçamento alocado de forma mais eficiente. Os autores sugeriram que a gestão pública desenvolva estratégias de energia, legislação ambiental mais severa e investimentos em tecnologia para o setor de energia renovável, assim como recomenda Zhu e Zhang (2021).

Ma et al. (2020) mediram o desempenho energético de 57 países para o período 2010-2016 e classificaram em três regiões: Ásia, América e Europa. O melhor desempenho energético regional foi constatado nas Américas, devido a política regional de meio ambiente e

energia. Por outro lado, a performance mais ineficiente se deu na Ásia (China e Índia) em virtude do crescimento econômico acelerado. Os autores recomendaram que para promover a redução de energias fósseis, faz-se necessário substituir fontes energéticas para fontes renováveis ou outras formas de energias limpas não renováveis conforme argumentaram Jalali Sepehr et al. (2019) e Zhu e Zhang (2021).

Rusydiana et al. (2021) mediram a eficiência e produtividade do acesso à energia de 50 países da Organização para a Cooperação Islâmica (OIC). Identificaram-se diferenças no nível de eficiência, em que os países muçulmanos do continente europeu apresentaram mais eficiência energética do que países asiáticos e africanos. Os países mais eficientes e com maior produtividade mostraram ser mais adeptos de fontes renováveis de energia – o que vai ao encontro de Jalali Sepehr et al. (2019) e Ma et al. (2020). Por outro lado, as causas do desempenho de países com menores performances se deram devido à dificuldade de fornecimento de eletricidade como infraestrutura inadequada de transmissão e distribuição.

A eco inovação são soluções orientadas ao desenvolvimento sustentável para maximizar os ganhos econômicos e minimizar seus impactos negativos no meio ambiente (KIANI MAVI et al., 2022). Nesse contexto, Kiani Mavi et al. (2022) avaliaram a eficiência e produtividade da eco inovação dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) para 2010-2018. Verificou-se que os países mais eficientes apresentaram mais investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). E aqueles países com tecnologias mais avançadas apresentaram a maior produtividade e a capacidade de exportar tecnologias para outras partes do mundo. Os autores ressaltaram que os países de alto desempenho podem ser referência para o desenvolvimento da eco inovação.

Liu et al. (2021b) verificaram a relação entre o financiamento verde com a geração de eletricidade renovável de 28 países para 2016-2020. Observou-se que a falta de acesso ao financiamento privado levou ao atraso do desenvolvimento de iniciativas verdes e pode comprometer os ODS. Os autores argumentaram que os governos deveriam dar prioridade à educação técnica para desenvolver novas tecnologias sustentáveis – o que corrobora com Jalali Sepehr et al. (2019), Zhu e Zhang (2021) e Ma et al. (2020). Além disso, a gestão pública deveria investir em infraestrutura para melhorar a eficiência energética o que vai ao encontro de Rusydiana et al. (2021) para aumentar o acesso a eletricidade.

Moutinho e Madaleno (2021) avaliaram a evolução da ecoeficiência para os 27 países da União Europeia (UE) no período 2008-2018. A UE desencadeou várias iniciativas e regulamentos relativos à proteção ambiental em direção aos ODS. Os países mais próximos da eficiência foram aqueles que conseguiram reduzir mais as emissões de gases de efeito estufa

(GEE) e poluentes. Os autores ressaltaram que o *ranking* de ecoeficiência fornece informações sobre desenvolvimento econômico e impactos ao meio ambiente, auxiliando no desenvolvimento de políticas ambientais no desenvolvimento de regulamentos mais eficazes.

Koçak et al. (2021) determinaram a eficiência ambiental dos gastos de P&D em eficiência energética nos países da OCDE. Os Estados Unidos garantiram a eficiência ambiental, sendo o líder em desenvolvimento de tecnologias energéticas devido aos elevados investimentos em P&D, o que corrobora com Kiani Mavi et al. (2022). Japão, Canadá, França, Alemanha e Itália apresentaram escores muito próximos da fronteira de eficiência, pois investiram significativamente no desenvolvimento de fontes de energias limpas. Os autores argumentaram que os resultados apresentados poderiam indicar como países deveriam alterar seus gastos em P&D para alcançar a eficiência, utilizando como modelo as políticas energéticas e ambientais dos Estados Unidos (*benchmark*).

Van Song et al. (2021) investigaram indicadores financeiros para entender os impulsionadores do crescimento econômico e das mudanças nas emissões de CO₂ nos países do Grupo dos Sete (G7). Constatou-se que a atratividade de investimentos éticos, ambientais e socialmente responsáveis ajudaram no aumento da eficiência e na mitigação das emissões de CO₂. Verificou-se que o G7 poderia economizar energia por meio de políticas que aumentassem a proporção de energia verde, otimizando continuamente a estrutura de consumo de energia existente. A entrada de biocombustíveis se mostrou altamente dependente da infraestrutura e não da criação de novos conhecimentos ambientais, o que vai ao encontro dos achados de Rusydziana et al. (2021) e Liu et al. (2021b). Além disso, os autores afirmaram que para avançar nos ODS e garantir o desenvolvimento sustentável é necessário investir na descarbonização com a combinação de energia moderna e limpa, o que corrobora com Jalali Sepehr et al. (2019), Zhu e Zhang (2021), Ma et al. (2020) e Liu et al. (2021b).

Liu et al. (2021a) mensuraram a eficiência energética de 30 províncias na China e analisaram seus padrões de heterogeneidade espacial, de 2008-2017. Os resultados demonstraram que a urbanização é comprovadamente a principal política que impulsionou a eficiência energética regional na China. O avanço da urbanização concentrou capital humano, nível tecnológico e otimizou a infraestrutura, promovendo o rápido crescimento de consumo de eletricidade. Os autores sugeriram que para a elaboração de políticas direcionadas ao desenvolvimento sustentável, o governo deveria considerar a heterogeneidade espacial da eficiência energética – o que corrobora com Ma et al. (2020) - para formular metas regionais diferenciadas de conservação de energia, redução de emissões de CO₂ e estratégias de melhoria da eficiência energética.

Alguns trabalhos estão correlacionados com as variáveis do 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis) e com o 15º ODS (Vida Terrestre). Roy et al. (2021) argumentaram que a interação de água, energia, alimentos e mudanças climáticas tem efeitos na agricultura e na indústria. Sendo assim, determinaram a eficiência de 146 nações em converter seu nível de globalização para alcançar o desenvolvimento socioeconômico, de 2000-2017. Embora a maioria dos países tenha caminhado para a melhoria em atingir os ODS, três partes do mundo estão atrasadas: o Sul e Sudeste da Ásia, África e América do Sul. Como são regiões que não possuíam graus de globalização tão altos, pode-se inferir que a intensificação da globalização contribuiu para o alcance das metas dos ODS. Além disso, constatou-se que a produtividade aumentou mais devido a tecnologias do que ganhos de eficiência. Os autores ressaltaram a importância da globalização para alcançar o desenvolvimento socioeconômico.

Em relação a inovação da tecnologia verde, Wang, et al. (2021) analisaram o desempenho da produtividade total dos fatores verde na China, no período de 2000 a 2006. Foram identificadas diferenças regiões, em que esse indicador apresentou uma melhor performance na Região Leste do que na Oeste. Além disso, destacou-se que a inovação verde tem um efeito positivo significativo em sua própria variação de produtividade total dos fatores verdes, mas efeitos negativos em relação as províncias vizinhas. Os autores sugeriram que os resultados podem fornecer referências espaciais para o governo chinês promover uma política de aceleração do desenvolvimento verde de alta qualidade.

Ainda referente a essa temática, Huang et al. (2021) avaliaram a produtividade total de fatores verde na China de 2000 a 2018. Os resultados demonstraram que esse indicador geral na China apresentou tendência de acréscimo. Ademais, foram identificadas diferenças regionais – fator também indicado em Wang, et al. (2021) - do eixo “Leste-Centro-Oeste” para “Sul-Norte”, à medida que as diferenças de produtividade entre as Regiões Leste, Centro e Oeste diminuem, enquanto a lacuna entre as Regiões Sul e Norte se expandem. Essas descobertas podem fornecer uma nova referência para otimizar a relação entre o mercado e o governo e coordenar o desenvolvimento verde regional da China.

Para uma sociedade alcançar consumo e produção responsáveis que levem ao 12º ODS é importante analisar as questões de regulação ambiental. Nesse contexto, Gao et al. (2019) investigaram a implementação de regulamentações ambientais no crescimento da produtividade do carbono na China, de 2004 a 2014. Constatou-se que uma regulamentação ambiental rigorosa está associada a um aumento no crescimento geral da produtividade industrial de carbono na China. Ademais, um caminho importante para promover o efeito de sinergias

positivas da produtividade do carbono é a modernização da estrutura industrial e a eliminação do atraso na capacidade produtiva das indústrias altamente poluentes.

Ibrahim et al. (2021) estimaram a eficiência de sistemas socioecológicos de 24 países da África Subsaariana, de 2000-2014. Verificou-se que um aumento na produção de alimentos e desenvolvimento humano (por meio da expectativa de vida, educação e padrão de vida) estão relacionados com a melhoria dos sistemas socioecológicos. A eficiência demonstrou estar negativamente associada ao aumento de mão-de-obra feminina, emissões de CO₂ e urbanização. Uma vez que a África é altamente dependente de combustível fóssil, o movimento rural-urbano contribuiu para elevar as emissões de CO₂. O desenvolvimento sustentável na região depende de políticas ambientais rigorosas – o que corrobora com Jalali Sepehr et al. (2019) - em relação à disposição de resíduos em terra e água.

Pu et al. (2021) avaliaram a eficiência do uso do solo industrial de treze cidades da China, de 2003-2018. O uso do solo industrial na China é de produção extensiva, o que resulta em consumo considerável de recursos e poluição ambiental. A análise identificou que a tendência evolutiva de crescimento rápido seguido de crescimento lento e depois achatamento e declínio, sugeriu que o crescimento econômico ainda é sustentado por um significativo aumento de área industrial, capital e trabalho. Os gestores públicos deveriam investir na inovação tecnológica, o que vai ao encontro de Jalali Sepehr et al. (2019), Zhu e Zhang (2021), Ma et al. (2020) Liu et al. (2021b) e Van Song et al. (2021). Além de alterar a estrutura industrial baseados na eficiência, com menos investimento para obter maiores benefícios do uso do solo industrial.

Em relação ao desempenho da agricultura sustentável, Wang et al. (2020) mediram o desempenho ambiental agrícola da China de 2000 a 2016. Os resultados mostraram que o crescimento do desempenho ambiental da China tem sido lento, com uma taxa média de crescimento anual de apenas 0,80%. Em geral, os avanços tecnológicos agrícolas têm um papel mais visível na promoção de uma forte performance na redução das emissões de carbono – o que vai ao encontro dos achados de Gao et al. (2019). A agricultura na China também está a caminho de se tornar mais sustentável e verde.

Zafar et al. (2021) exploraram a eficiência energética de 15 países da África, Ásia e Europa, levando em consideração os efeitos de transbordamento de regulamentações governamentais e inovações tecnológicas para o desenvolvimento e práticas sustentáveis. Verificou-se que os países asiáticos apresentaram escores mais elevados de eficiência (como China e Índia) do que o continente africano. Os países europeus também tiveram valores significativos de eficiência energética. A econometria espacial demonstrou que os efeitos da

inovação e eficiência energética em uma região também afetaram as regulamentações e medidas conduzidas por países vizinhos – o que corrobora com os achados de Rusydiana et al. (2021) e Ma et al. (2020) - e contribuíram para o desenvolvimento de alternativas energéticas eficientes. Os autores argumentaram que as inovações em eficiência energética – assim como o estudo de Van Song et al. (2021) - atrelado a leis de sustentabilidade com regulamentações rígidas poderiam contribuir para o desenvolvimento de tecnologias de energia limpa e de baixo carbono.

Su e Chen (2021) desenvolveram um modelo de coordenação entre os recursos de água, energia e alimentos para 19 cidades da província de Taiwan, para 2010. A eficiência média da água foi a mais baixa (0,51), seguida pela de alimentos (0,76) e de energia (0,82). Os resultados mostraram que a relação entre água, energia e alimentos com alto grau de acoplamento destes três recursos pode melhorar a eficiência geral, o que poderia contribuir para a realização dos ODS.

Zakari et al. (2022) conectaram os ODS com a eficiência energética de 20 países da Ásia e do Pacífico, de 2000-2018. Constatou-se que o desenvolvimento econômico sustentável esteve associado ao aumento da eficiência energética. Esse fato sugeriu que a poupança, industrialização e consumo de energia renovável contribuíram para o avanço dos ODS. Outros fatores como facilidades de crédito, gastos com P&D, infraestrutura, saúde e investimento estrangeiro direto aumentaram a eficiência energética. Os autores sugeriram que os governos deveriam realizar reformas do sistema tributário, indústria, promoção de serviços públicos, privatizações e promoção do investimento indireto estrangeiro para desenvolver a eficiência energética.

Observa-se que no que tange à geografia ou classificação dos artigos selecionados, os trabalhos abordaram China (9), Mundo (4), países da OCDE (2), países da OIC (1), países da Europa, Ásia e África (1), África (1), África do Sul (1), União Europeia (1), Brasil (1), G7 (1) e Ásia e Pacífico (1). Em relação aos ODS foram identificados sete artigos com conteúdo relacionado ao 6º ODS (Água Potável e Saneamento), catorze trabalhos ao 7º ODS (Energia Limpa e Acessível), sete ao 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis) e quatro ao 15º ODS (Vida Terrestre), lembrando que alguns estudos se referem a mais de um ODS (Ver Apêndice A). Não foram identificados trabalhos relacionados ao 8º ODS (Trabalho Decente e Crescimento Econômico).

O 7º ODS (Energia Limpa e Acessível) foi o mais discutido dentro dos trabalhos apresentados, verificou-se, portanto, que o caminho para o desenvolvimento sustentável está fortemente direcionado à implementação de tecnologias de energias renováveis, que então

intimamente ligadas com as emissões de GEE e questões referentes às mudanças climáticas e aquecimento global.

Outro ponto relevante discutido nos artigos se refere às políticas regionais que parecem serem significativas para a eficiência energética (RUSYDIANA et al., 2021; ZAFAR et al., 2021; MA et al., 2020; LIU et al., 2021a). Portanto, muitos trabalhos argumentaram sobre a necessidade de adoção de tecnologias mais sustentáveis, o que envolveria também questões relacionadas à transferência tecnológica e necessidade de parceria global.

De acordo com Van Song et al. (2021) a transição energética global esteve em andamento para adotar alternativas de baixo carbono em detrimento dos combustíveis fósseis. Além disso, o sistema de energia pode ser classificado como um sistema de tecnologia social, e as mudanças na tecnologia de energia remodelaram práticas sociais, ética, associações e organizações (VAN SONG et al., 2021). Em linha com esta ideia, observou-se que alguns estudos apontaram a necessidade de uma infraestrutura adequada para a implementação de energias renováveis (RUSYDIANA et al., 2021; LIU et al. 2021b; e VAN SONG et al., 2021).

Outro ponto de destaque foi em relação a pressão que os países do G7 (VAN SONG et al., 2021), China e Índia (ZAFAR et al., 2021) sofreram em relação aos impactos ambientais derivados de seus modelos de economia. Desse modo, alguns trabalhos destacaram a importância da aplicação de políticas ambientais mais rigorosas para se atingir o desenvolvimento sustentável (JALALI SEPEHR et al., 2019; IBRAHIM et al., 2021; ZAFAR et al. 2021; VAN SONG et al., 2021). Os trabalhos ainda destacaram que aquelas DMUs consideradas eficientes poderiam servir de referência (*benchmarkings*), ou seja, modelo para as demais DMUs que ainda não atingiram a eficiência, e assim os formuladores de políticas públicas poderiam ter um direcionamento mais claro para progredir na realização dos ODS.

2.2 Economia Circular (CE) e *Data Envelopment Analysis* (DEA) e *Malmquist Productivity Index* (MPI)

O cruzamento das palavras-chaves “*Circular Economy (CE) x Data Envelopment Analysis (DEA)*” resultou em um total de 43 artigos. Em relação ao cruzamento das palavras-chaves “*Circular Economy (CE) x Malmquist Productivity Index (MPI)*” resultou em 4 artigos. A partir dos quais foram selecionados aqueles que compreenderam as análises de eficiência voltadas aos seguintes ODS: 6º: Água Potável e Saneamento; 7º: Energia Limpa e Acessível; 8º: Trabalho Decente e Crescimento Econômico; 12º: Consumo e Produção Responsáveis, e 15º: Vida Terrestre. Não foi encontrado nenhum trabalho relacionado ao 8º ODS. Além disso, buscou-se por artigos a nível macro da EC. Como resultado dessa etapa, 8

trabalhos foram selecionados, tendo suas informações sintetizadas no Quadro 11 (Ver Apêndice A). Dentre os artigos identificados, alguns foram descartados uma vez que já foram discutidos no item 2.1. da presente pesquisa.

Halkos e Petrou (2019) avaliaram a eficiência ambiental de 28 países da União Europeia (EU) em termos de geração e tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU), sob o conceito de Economia Circular, para 2008-2014. Constatou-se que a eficiência se mostrou correlacionada com a maior utilização de tratamento de resíduos (aterro, incineração, reciclagem e compostagem) dentro de abordagens mais sustentáveis e diminuição de aterros. A crise financeira que atingiu a Europa, em 2008, pode ter levado os países a tentarem aproveitar opções de tratamento mais sustentáveis em com características de Economia Circular.

Em relação ao tratamento de reciclagem e reutilização de resíduos industriais, Li et al. (2020) avaliaram a eficiência de 30 províncias da China. Em contraste com estudos anteriores, que se concentraram principalmente na eficiência do tratamento de resíduos, este trabalho levou também em consideração a reciclagem, ou seja, o valor de produtos derivados dos resíduos. Os resultados revelaram que a eficiência na etapa de tratamento de resíduos foi maior do que na etapa de reutilização. Os autores ressaltaram que a reutilização é importante e que os resíduos podem ser empregados como recursos produtivos potenciais, sendo assim a gestão de resíduos é essencial para o desenvolvimento sustentável dos países industrializados emergentes.

Chen e Yao (2020) reconstruíram o índice de avaliação de eficiência da Economia Circular de dez províncias da China, de 2011-2017. A eficiência registrou tendência de queda de 2011 a 2015, recuperando-se ligeiramente em 2016 e voltando a diminuir em 2017. Este fato indicou que embora a China tenha começado a dar importância à EC, a eficiência da EC não foi elevada. Sendo assim, os autores recomendaram que as províncias deveriam primeiro melhorar sua eficiência de escala para depois melhorar a eficiência técnica pura.

Giannakitsidou et al. (2020) mediram a eficiência ambiental da Economia Circular de 26 países da UE na gestão e exploração de RSU, de 2014-2017. Foram identificadas disparidades regionais entre os países do norte (Dinamarca e Finlândia) e do sul da Europa (Espanha e França) – o que vai ao encontro de Rusydiana et al., (2021), Zafar et al., (2021), Ma et al., (2020), e Liu et al., (2021a). A eficiência também mostrou estar relacionada à instrumentos, como subsídios governamentais, aumento da reciclagem, medidas de proibições de aterros e incentivo à incineração, como o caso da Bélgica que adota o princípio de “poluidor-pagador”² para elaborar a gestão de resíduos. Os autores reforçaram que avanços de

² No princípio de pagador-poluidor as famílias são cobradas, com base no volume ou peso de resíduos sólidos municipais gerados, enquanto as tarifas são diferenciadas, de modo que os resíduos domiciliares mistos são mais

desempenho na EC devem ser desenvolvidos conjuntamente com a melhoria do progresso social – o que vai ao encontro dos achados de Van Song et al. (2021).

Lu et al. (2020) mensuraram a eficiência da Economia Circular industrial de 30 províncias da China, de 2015-2017. Os resultados demonstraram que o nível geral de eficiência da Economia Circular industrial da China não era alto e melhorias poderiam ser alcançadas, tomando como base o aumento de investimentos em tecnologia sustentáveis e a melhoria de gestão para promover a eficiência integrada. Além disso, a eficiência apresentou características de agregação espacial, incluindo clara dependência e heterogeneidade espacial – o que vai ao encontro de outros estudos (GIANNAKITSIDOU et al., 2020; LU et al., 2020; RUSYDIANA et al., 2021; ZAFAR et al., 2021; MA et al., 2020; LIU et al., 2021a). Em relação aos fatores que afetaram positivamente a eficiência, foram identificados a abertura ao exterior, regulamentação governamental e agregação de industrialização. Os autores argumentaram que o desenvolvimento da EC poderia promover a reciclagem eficiente de recursos, sendo um ponto de partida para a transformação e modernização industrial e representa um fator chave para o desenvolvimento sustentável na China.

Lacko et al. (2021) compararam a eficiência circular dentro do Grupo Visegrád-República Checa, Polónia, Hungria e Eslováquia, com a média dos 28 países da UE, de 2010-2017. Constatou-se que os países do Visegrád não estão entre os mais avançados em termos de reciclagem e EC, mas apresentaram melhorias ao longo do tempo. Foram identificadas diferenças regionais – o que corrobora com outros trabalhos (GIANNAKITSIDOU et al. 2020; LU et al., 2020; RUSYDIANA et al., 2021; ZAFAR et al., 2021; MA et al., 2020; LIU et al., 2021a). Além disso, a eficiência foi mais elevada em países com níveis mais altos de agricultura orgânica. Outro ponto de destaque foi que países com o PIB mais elevado não necessariamente foram eficientes, o que poderia ter ocorrido devido à alocação de recursos para outras áreas da economia nacional e não as questões ambientais. Os autores destacaram que os desdobramentos do COVID-19 causando enormes problemas econômicos, poderia ser uma boa oportunidade para investir em processos que possam levar à melhoria da EC e do capital natural.

Bagheri (2021) avaliou a eficiência de diferentes setores da economia dos Emirados Árabes Unidos com base em objetivos de sustentabilidade e EC para o ano de 2017. Os resultados mostraram que a maioria dos setores (agricultura, petróleo bruto, gás natural e mineração, restaurantes e hotéis, serviços bancários e financeiros dos setores) são eficientes. No entanto, os setores de construção e imobiliário, comércio e transporte, e governo e serviços

caros para destacar do que os resíduos coletados por meio de coleta seletiva de matérias (Giannakitsidou et al., 2020).

sociais, apresentaram baixo nível de eficiência e precisariam investir mais em energia renovável, o que corrobora com outros estudos (RUSYDIANA et al., 2021; ZAFAR et al., 2021; MA et al., 2020; LIU et al., 2021a). O autor sugeriu expandir a análise dos setores indicados para outras regiões ou países.

Zhang et al. (2022) avaliaram a eficiência ambiental do gerenciamento de resíduos industriais, emergências ambientais e tratamento da poluição de 30 províncias da China, de 2013- 2017. Observou-se que o aumento do consumo de energia provocou o acréscimo de resíduos industriais e de emergências ambientais causadas por poluentes. Os resultados demonstraram que a eficiência ambiental regional na China é geralmente baixa, o que corrobora com os achados de Chen e Yao (2020). Os autores argumentaram que métodos apropriados de proteção ambiental deveriam ser adotados para resolver os problemas ambientais causados pela rápida industrialização da China. O estudo propôs ainda que as províncias do leste poderiam ser um exemplo (modelo de referência) para a promoção de um desenvolvimento regional equilibrado e ofereceu recomendações de políticas contra emergências ambientais.

Em relação à geografia dos trabalhos selecionados, observa-se que quatro estudos foram sobre a China, dois sobre a União Europeia, um sobre o Leste Europeu e um os Emirados Árabes Unidos.

Os estudos apresentados se concentraram em avaliar a eficiência da gestão de resíduos (LI et al., 2020; HALKOS e PETROU, 2019; ZHANG et al., 2022). Halkos e Petrou (2019), reforçam a aplicabilidade da DEA em estudos de gestão de resíduos para avaliar a eficiência dos programas de coleta de resíduos que são ineficientes e precisam ser melhorados, por exemplo, métodos de coleta, meios de transporte, veículos e tempo.

Giannakitsidou et al. (2020) argumentaram que a mudança para a Economia Circular tem o potencial de impulsionar o crescimento econômico promovendo a inovação, geração de empregos e aumentar a competitividade de um país, caminhando para um desenvolvimento mais sustentável. Além disso, Lacko et al. (2021) ressaltaram que o momento pós-pandemia do COVID-19 se apresenta como um impulsionador para implementação da EC.

Outro ponto que converge com os achados do item 3.1 são relacionados às divergências regionais identificadas nas análises de eficiência (LACKO et al., 2021; GIANNAKITSIDOU et al. 2020; LU et al., 2020; ZHANG et al., 2022). Lacko et al. (2021) argumentaram que análises de eficiência poderiam contribuir para compreender as diferenças regionais e auxiliar no estabelecimento de políticas públicas. Ademais, Lu et al. (2020) complementaram ressaltando que tais análises poderiam auxiliar a melhorar o nível da Economia Circular industrial e diminuir as lacunas regionais.

Corroborando com essa constatação, pesquisas sobre a eficiência da Economia Circular podem apoiar a gestão pública na concepção e aplicação de legislações a fim de alcançar os objetivos orientados para o desenvolvimento sustentável (HALKOS e PETROU, 2019; GIANNAKITSIDOU et al., 2020). Os trabalhos ainda destacaram que ao serem identificadas as melhores práticas, ou seja, as DMUs eficientes é possível compreender os fatores que levam a eficiência e utilizá-las como *benchmarkings* para a implementação da EC como estratégia de desenvolvimento sustentável.

3 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO MILÊNIO (ODS) E ECONOMIA CIRCULAR (CE)

3.1 Contextualização

Uma vez que os recursos do planeta Terra são limitados, não sendo suficientes para atender ao crescimento econômico e populacional, faz-se necessário implementar mudanças para garantir as necessidades de consumo, sem causar impactos negativos ao meio ambiente (MEADOWS et al., 1972). Lieder e Rashid (2016) argumentaram que com o cenário do aumento da população mundial e da classe média, espera-se que a demanda por recursos naturais cresça rapidamente. Além disso, não é apenas o desafio para atender novos consumidores e combater a poluição ambiental que se tornam críticos, mas também a escassez de recursos limitados.

O conceito de desenvolvimento sustentável mais amplamente aceito foi estabelecido pela “*World Commission on Environment and Development*” no Relatório Brundtland, como sendo a capacidade de atender às necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das futuras gerações (ONU, 1987). Baseado nesse conceito, a sustentabilidade está estruturada pelo tripé em garantir o equilíbrio entre os aspectos sociais, ambientais e econômicos do “*Triple Bottom Line (TBL) - Planet, People, Profit*” (ELKINGTON, 2020), conforme ilustra a Figura 2.

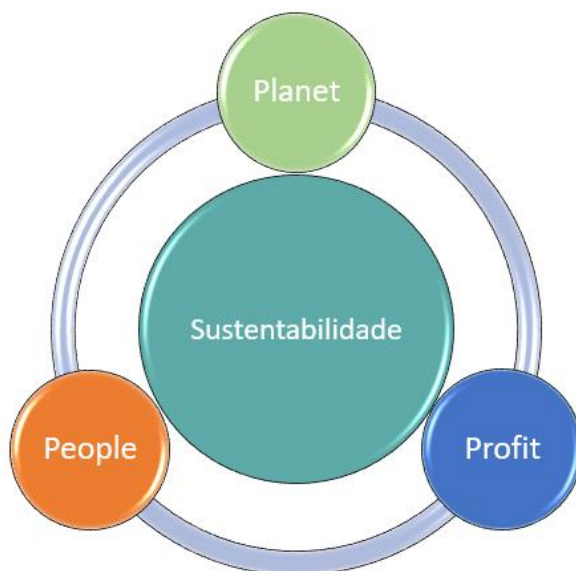


Figura 2. *Triple Bottom Line – Planet (planeta), People (pessoas), Profit (lucro)*
 Fonte: Elaborado pela autora com base em Elkington (2020)

A Figura 2 mostra que as três dimensões da sustentabilidade devem estar integradas: *planet* (planeta), que se refere ao pilar ambiental; *profit* (lucro), que corresponde ao pilar

econômico; e *people* (pessoas), que diz respeito ao pilar social. O pilar ambiental refere-se ao capital natural, indicando a necessidade de minimizar os impactos negativos ao meio ambiente. No pilar econômico inserem-se os sistemas produtivos, distribuição, consumo e o lucro da atividade econômica. O pilar social envolve o capital humano, comunidade e toda a sociedade, levando em consideração requisitos como salários justos e legislação trabalhista eficiente que assegure o bem-estar aos trabalhadores (ELKINGTON, 2020). Os três pilares não são estáticos; estão em fluxo constante de acordo com as medidas de pressões de natureza social, política, econômica e ambiental, além de ciclos, crises e conflitos (ELKINGTON, 2020). Segundo Kloke-Lesch (2015), no futuro, não haverá sentido em dar ao termo desenvolvimento um significado diferente de desenvolvimento sustentável. De acordo com Leonard (2011), os modelos de produção precisam ser repensados, promovendo a integração entre sociedade, meio ambiente e lucros, pois sustentabilidade requer a promoção da igualdade e justiça ao longo do tempo.

Em relação aos desafios globais, como Weetman (2019) argumenta, a população mundial quadruplicou no Século XX. A Figura 3 apresenta a evolução do crescimento da população mundial, destacadas por década, de 1960 a 2021.

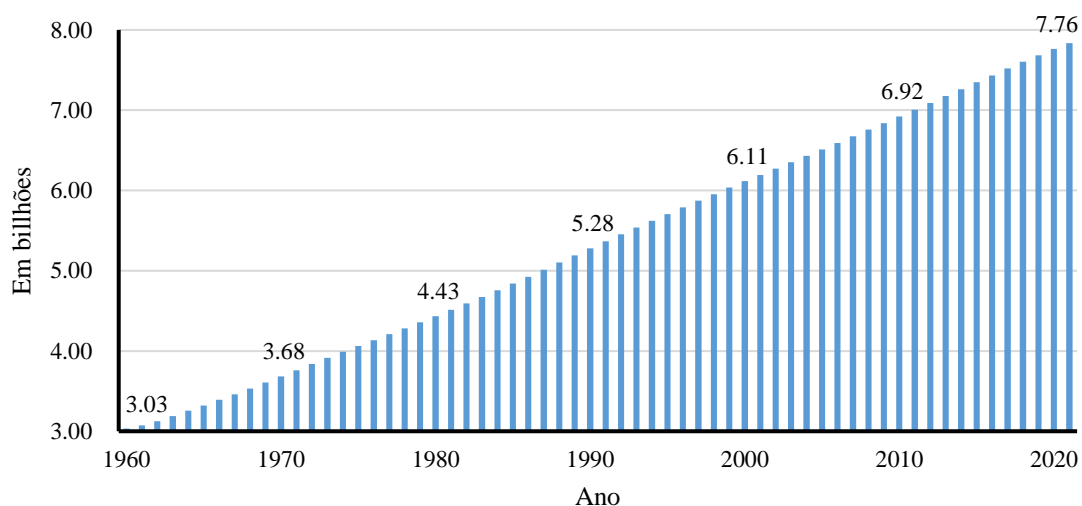


Figura 3. População mundial em bilhões de habitantes; 1960 a 2020 e para o ano de 2021
Fonte: World Bank (2022a)

Além disso, com a aceleração das atividades industriais e mudanças da sociedade, uma parcela expressiva da população migrou da zona rural para cidades. O comércio mundial acompanhou esse crescimento e a globalização redesenhou a estratégia dos negócios em que as

atividades industriais passaram a se instalar para as economias emergentes (WEETMAN, 2019).

De acordo com a Figura 3, no período de 1960 a 2021, a população mundial cresceu aproximadamente 2,5 vezes. Em 1960, o mundo detinha pouco mais de 3,0 bilhões de habitantes, passando para mais de 7,8 bilhões em 2021. Estima-se que em novembro de 2022, a população mundial alcance 8 bilhões de habitantes, alcançando 8,5 bilhões em 2030 e 9,7 bilhões em 2050 (ONU, 2022). Expectativas indicam que a população mundial alcançará um pico em 2080, ao atingir 10,4 bilhões de habitantes, permanecendo nesse patamar até 2100 (ONU, 2022). Em relação ao crescimento econômico, a Figura 4 ilustra a taxa de crescimento do PIB mundial, segundo dados do World Bank (2022a).

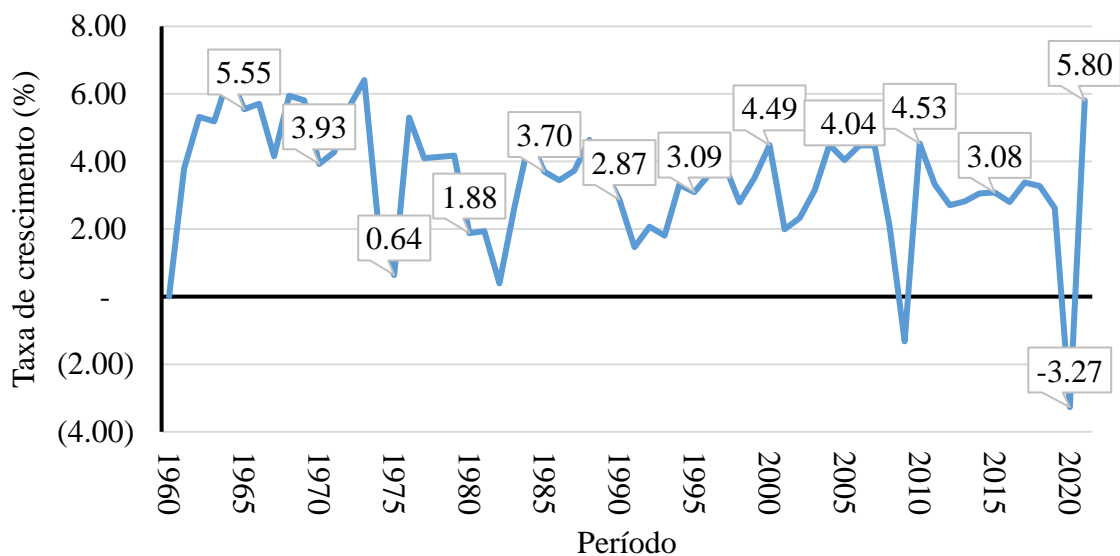


Figura 4. Taxa de Crescimento Anual do Produto Interno Bruto (PIB) mundial; 1960 a 2021
Fonte: World Bank (2022a)

Como ilustrado na Figura 4, no período de 1960 a 2021, o PIB mundial cresceu em média 3,47% ao ano. Após uma brusca queda de 3,27%, em 2020, devido à pandemia da COVID-19, as projeções de crescimento do PIB mundial para 2022 são de 2,9%, e de 3% para 2023 e 2024 (WORLD BANK, 2022b). Com a perda maciça de empregos e a desigualdade de renda excessiva, parece razoável esperar que a pobreza global aumente em 2020, pela primeira vez desde 1998 (MAHLER et al., 2020).

Em 2020, a atividade econômica contraiu-se em cerca de 90% dos países, excedendo o número de países que viram tais declínios durante as duas guerras mundiais, a grande depressão da década de 1930, as crises da dívida das economias emergentes da década de 1980 e a crise

financeira global de 2007-09. Os efeitos culminaram em uma recessão de aproximadamente 3% da economia mundial e a pobreza global aumentou pela primeira vez em uma geração. Esse cenário foi agravado por uma queda na demanda, pois a pandemia afetou o comportamento do consumidor. Ademais, sugere-se que os efeitos econômicos da pandemia serão mais persistentes e mais severos nas economias emergentes (WORLD BANK, 2022c).

Em 2020, depois do colapso da renda *per capita* em todo o mundo, 40% das economias dos países de alta renda se recuperaram e superaram seu nível de produção de 2019, já em 2021. A parcela de países que alcançaram renda *per capita* em 2021 superior à de 2019 é menor, no entanto, para os países de renda média (27%), e ainda menor para os países de baixa renda, com 21%, apontando para uma recuperação mais lenta nos países mais pobres (WORLD BANK, 2022c).

Para completar o cenário adverso, em 2022 os desdobramentos da Guerra entre Rússia e Ucrânia têm provocado uma inflação de preços das commodities, ocasionando insegurança alimentar e pobreza. A intensificação das tensões geopolíticas que se estendem ao setor energético, ressalta a importância de uma forte resposta de política macroeconômica e estrutural nos níveis global e nacional (WORLD BANK, 2022b)

Em relação aos sistemas produtivos, durante a maior parte do Século XX, o preço médio dos recursos diminuiu em 50%, incluindo alimentos, água, energia ou aço, que apresentaram uma redução, a despeito do significativo crescimento da população mundial e das economias (PIB). Esta queda acontece devido a uma combinação de fatores, como novas fontes de abastecimento de baixo custo e inovação tecnológica (DOBBS et al., 2011). A partir dos anos 2000, a demanda crescente do continente asiático resultante, em grande parte, da ascensão da população à classe média mudou o cenário, elevando os preços de recursos. Além do aumento do consumo de recursos, existe a problemática da deterioração ambiental, que impulsionada pela maior demanda, tende a tornar o fornecimento de recursos, e principalmente de alimentos, mais vulnerável (DOBBS et al., 2011). O desafio para aumentar a produtividade dos recursos depende de uma combinação de expansão de sua oferta e uma mudança na forma como são extraídos, transformados e consumidos (DOBBS et al., 2011).

Desde a Segunda Revolução Industrial (1850), com o desenvolvimento de um modelo de produção linear, orientado a extrair recursos da natureza para serem empregados na produção, seguindo-se o descarte, levou o planeta a uma situação de sobrecarga ecológica (MEA, 2005). Nesse ritmo, 60% dos ecossistemas da Terra foram afetados ou deixaram de existir, enquanto a população mundial consome 1,5 planeta por ano, ou seja, essa demanda não acompanha a capacidade do planeta em repor recursos e absorver resíduos (MEA, 2005).

Conforme exposto, os serviços ecossistêmicos estão sendo degradados ou usados, desde a Segunda Revolução Industrial, de forma insustentável, incluindo água doce, pesca de captura, purificação do ar e da água e a regulação do clima regional e local, perigos e pragas. Os custos totais da perda e degradação desses serviços ecossistêmicos são difíceis de medir, mas as evidências disponíveis demonstram que eles são substanciais e crescentes. A degradação dos serviços ecossistêmicos já é uma barreira para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (MEA, 2005).

Além do exposto, no ritmo atual de progressão, o aumento da temperatura média de longo prazo da Terra atingirá em 2033, a marca de 1,5° C acima da média de 1850 e 1900, 2° C será alcançado por volta de 2060, e em 2100, a atmosfera da Terra deverá experimentar um aumento na temperatura de 3° C a 5° C (ROHDE, 2021). Tal implicação indica que a economia linear é um modelo gerador de resíduos e conhecido por sua abordagem “*take-make-waste*” ou “do berço ao túmulo” (SAPUTRA et al., 2022).

Diante do contexto apresentado, os países vêm desenvolvendo estratégias coerentes com o desenvolvimento sustentável por meio de parcerias e cooperação mundial, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS), e mais recentemente, como o conceito da Economia Circular (EC) (ONU, 2015; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2022).

3.2 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)

A Declaração do Milênio foi apresentada durante a Cúpula do Milênio realizada em 2000, pela Organização das Nações Unidas (ONU). Seus valores e princípios estão divididos em oito capítulos, que se baseiam em: *i*) liberdade, igualdade, solidariedade, tolerância, respeito pela natureza e responsabilidade comum; *ii*) paz, segurança e desarmamento; *iii*) o desenvolvimento e a erradicação da pobreza; *iv*) proteção do meio ambiente em comum; *v*) direitos humanos, democracia e boa governança; *vi*) proteção dos grupos vulneráveis; *vii*) responder às necessidades especiais da África; *viii*) reforçar as Nações Unidas (ONU, 2000).

Dessa forma, foram apresentados os oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) com suas dezoito Metas de Desenvolvimento do Milênio (MDM), ou seja, as medidas necessárias para o desenvolvimento de um mundo mais justo. A Declaração do Milênio foi assinada por 191 Estados-membros da ONU, em que esses líderes se comprometiam em promover a erradicação da pobreza extrema, enfermidades e impulsionar o desenvolvimento sustentável (ONU, 2000).

Sachs (2005) argumentou que a iniciativa dos Objetivos do Milênio formalizou, segundo uma abrangência global, um cronograma claro para beneficiar os economicamente

mais desfavorecidos, depois de vinte anos de inúmeras políticas estruturais, não tão bem-sucedidas. A Tabela 2 elenca os oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio e suas respectivas Metas.

Tabela 2. Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) e Metas dos ODM (continua)

Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM)	Metas de Desenvolvimento do Milênio
1. Erradicar a pobreza extrema e a fome	Reduzir pela metade, entre 1990 e 2015, a proporção da população com renda inferior a US\$ 1 por dia Reduzir pela metade, entre 1990 e 2015, a proporção da população que sofre de fome.
2. Atingir o ensino primário universal	Garantir que até 2015, todas as crianças, de ambos os sexos, terminem um ciclo completo de ensino primário
3. Promover a igualdade entre os sexos e a autonomia das mulheres	Eliminar a disparidade entre os sexos no ensino primário e secundário, se possível até 2005, e em todos os níveis de ensino, o mais tardar até 2015.
4. Reduzir a mortalidade infantil	Reduzir em dois terços, entre 1990 e 2015, a mortalidade de crianças menores de cinco anos.
5. Melhorar a saúde materna	Reduzir em três quartos, entre 1990 e 2015 a taxa de mortalidade materna
6. Combater o HIV/aids, malária e outras doenças.	Até 2015, ter detido a propagação do HIV/aids e começado a inverter a tendência mundial Até 2015, ter detido a incidência da malária e de outras doenças importantes e começado a inverter a tendência mundial.
7. Garantir a sustentabilidade ambiental	Integrar os princípios de desenvolvimento sustentável nas políticas e programas nacionais e reverter a perda de recursos ambientais. Reduzir pela metade, até 2015, a proporção da população sem acesso permanente e sustentável a água potável segura Até 2020, ter alcançado melhora significativa nas vidas de pelo menos 100 milhões de habitantes de bairros degradados (favelas).
8. Estabelecer uma parceria global para o desenvolvimento	Avançar no desenvolvimento de um sistema comercial e financeiro aberto, baseado em regras, previsível e não discriminatório. Inclui: um compromisso com a boa governança, desenvolvimento e redução da pobreza - tanto nacional como internacionalmente. Avançar no desenvolvimento de um sistema comercial e financeiro aberto, baseado em regras, previsível e não discriminatório. Inclui: um compromisso com a boa governança, desenvolvimento e redução da pobreza - tanto nacional como internacionalmente

Tabela 2. Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) e Metas dos ODM (conclusão)

Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM)	Metas de Desenvolvimento do Milênio
8. Estabelecer uma parceria global para o desenvolvimento	<p>Atender às necessidades especiais dos países menos desenvolvidos. Inclui: um regime isento de tarifas e não sujeito a quotas para as exportações dos países menos desenvolvidos; um programa melhorado de redução da dívida dos países pobres muito endividados (PPME) e anulação da dívida bilateral oficial; e uma ajuda pública mais generosa para o desenvolvimento dos países empenhados na luta contra a pobreza.</p> <p>Atender às necessidades especiais dos países sem acesso ao mar e dos pequenos Estados insulares em desenvolvimento (mediante o Programa de Ação para o Desenvolvimento Sustentável dos Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento e as conclusões da 22ª sessão extraordinária da Assembleia-Geral).</p> <p>Tratar globalmente o problema da dívida dos países em desenvolvimento mediante medidas nacionais e internacionais, de modo a tornar seus compromissos sustentáveis a longo prazo.</p> <p>Em cooperação com os países em desenvolvimento, formular e executar estratégias que permitam aos jovens obter trabalho digno e produtivo.</p> <p>Em cooperação com as empresas farmacêuticas, proporcionar o acesso a medicamentos essenciais, a preços acessíveis, nos países em desenvolvimento.</p> <p>Em cooperação com o setor privado, tornar acessíveis os benefícios das novas tecnologias, em especial das tecnologias de informação e de comunicações.</p>

Fonte: ONU (2000).

Os ODM promoveram avanços significativos na redução da pobreza e promoção do desenvolvimento humano, sendo considerados o empenho mundial mais bem sucedido da história (ONU, 2013). Ainda assim, as adversidades permanecem. Como exemplo, a fome, morte prematura de mulheres no parto, falta de saneamento básico e a falta de políticas ambientais, o que contribuiu para as consequências do aquecimento global e mudanças climáticas (ONU, 2013).

Em 2015, a Cúpula das Nações Unidas sobre o desenvolvimento sustentável elaborou uma nova agenda mundial, a ser efetivada até 2030, passando de oito para dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS), identificados como: 1) Erradicação da Pobreza; 2) Fome Zero e Agricultura Sustentável; 3) Saúde e Bem-estar; 4) Educação de Qualidade; 5) Igualdade de Gênero; 6) Água Potável e Saneamento; 7) Energia Limpa e Acessível; 8) Trabalho Decente e Crescimento Econômico; 9) Indústria, Inovação e Infraestrutura; 10) Redução das Desigualdades; 11) Cidades e Comunidades Sustentáveis; 12) Consumo e Produção Responsáveis; 13) Ação Contra a Mudança Global do Clima; 14) Vida na Água; 15) Vida Terrestre; 16) Paz, Justiça e Instituições Eficazes; e 17) Parcerias e Meios de Implementação (ONU, 2015). Todos os ODS e suas respectivas metas são apresentados na

Tabela 20 (ANEXO A). A introdução dos ODS destaca a importância de fatores sociais e econômicos para alcançar a sustentabilidade (ONU, 2015).

No período anterior à pandemia, o progresso nos ODS era lento, mas a implementação dos ODS estava apresentando avanços em áreas importantes como a redução da pobreza, melhoria da saúde materno-infantil, maior acesso à eletricidade e à promoção da igualdade de gênero. Porém, devido aos desdobramentos pandêmicos, expectativas sugerem que cerca de dois terços das 169 metas não serão cumpridas até 2030 (NAIDOO e FISHER, 2020; ONU, 2021).

Desde 2020, o ritmo de progresso dos ODS diminuiu, em alguns casos chegando à estagnação, ou até mesmo apresentando retrocessos (ONU, 2021). A COVID-19 trouxe à tona o fato de que os ODS, conforme projetados anteriormente, não são resilientes aos choques impostos pelas pandemias. A desaceleração da atividade econômica causada levou cerca de 119 a 124 milhões de pessoas à pobreza extrema, agravando os esforços para a redução da pobreza, conflitos de mudanças climáticas e desastres naturais. A crise também acentuou as desigualdades em termos de educação e emprego. O equivalente a 255 milhões de empregos em tempo integral foram perdidos em 2020, sendo que outros 101 milhões de crianças e jovens ficaram abaixo do nível mínimo de proficiência em leitura, revertendo os ganhos educacionais obtidos nas duas décadas anteriores. Estima-se também que, como resultado da pandemia, mais de 10 milhões de meninas entram na situação de contraírem casamento precoce, tendo-se acentuado também a ocorrência de casos de violência doméstica (ONU, 2021).

As recessões econômicas decorrentes da pandemia, pouco contribuíram para conter a crise climática. Dados preliminares para 2020, indicaram que a concentração atmosférica dos principais gases de efeito estufa aumentou, enquanto a temperatura média global ficou em torno de 1,2°C acima dos níveis pré-industriais, perigosamente próximo ao limite de 1,5°C estabelecido no Acordo de Paris (UNFCCC, 2015). Além disso, globalmente, as metas estabelecidas para 2020 para conter a perda de biodiversidade não foram cumpridas, tendo-se registrado que no período 2015-2020 foram perdidos 10 milhões de hectares de floresta ao ano (ONU, 2021).

As políticas para o curto prazo – por serem consideradas urgentes – buscam alcançar o acesso equitativo às vacinas e tratamentos COVID-19, fortalecer a posição financeira dos países em desenvolvimento e embarcar em uma recuperação guiada pela Agenda 2030. Para colocar a implementação dos ODS de volta nos trilhos, governos, cidades, empresas e indústrias devem aproveitar a recuperação para adotar caminhos de desenvolvimento inclusivos de baixo carbono e resilientes que reduzam as emissões, conservem os recursos naturais, criem melhores

empregos, promovam a igualdade de gênero e abordem as crescentes desigualdades (ONU, 2021).

De acordo com Kirton e Warren (2021), em março de 2020 veio a COVID-19, que destruiu 30 anos de desenvolvimento em 30 semanas. Os “lockdowns” implantados devido à crise pandêmica permitiram pequenos benefícios a curto prazo para os ODS: 12º (Consumo e Produção Responsáveis) e 15º (Vida Terrestre). Em contraste, os desdobramentos da pandemia foram devastadores para os seguintes ODS: 1º Erradicação da Pobreza; 2º Fome Zero e Agricultura Sustentável; 3º Saúde e Bem-estar; 4º Educação de Qualidade; 5º Igualdade de Gênero; 6º Água Potável e Saneamento; 8º Trabalho Decente e Crescimento Econômico e 10º Redução das Desigualdades. De modo geral, a COVID-19 atrasou as perspectivas de se alcançar os ODS até de 2030 e destruiu o 17º ODS parcerias e meios de implementação.

Por outro lado, a digitalização que estava ausente dos ODS em 2015, passou a ser parte central para a vida, o trabalho, a política, a governança e as cúpulas em todo o mundo. Os líderes do G20 também devem usar todo o poder da digitalização para ajudar a controlar a atual crise existencial das mudanças climáticas em suas muitas dimensões como a sua expansão e a desigualdade digital (KIRTON e WARREN, 2021).

Shulla et al. (2021) indicaram que os efeitos da COVID-19 afetaram mais severamente os seguintes ODS: 3º Saúde e Bem-estar, 4º Educação de Qualidade, 8º Trabalho Decente e Crescimento Econômico, 12º Consumo e Produção Responsáveis e 13º Ação Climática. Além disso, retrataram que efeitos de transbordamento adicionais podem ser obstáculos para alcançar os ODS: 5º Igualdade de Gênero, 9º Infraestrutura e Inovação, 10º Redução das Desigualdades, 17º Parcerias e Meios de Implementação e 11º Cidades e Comunidades Sustentáveis. Considera-se as implicações interdependentes e as tendências recentes no desenvolvimento internacional relacionadas à sustentabilidade como uma estrutura útil no período de recuperação pós-pandemia (SHULLA et al., 2021), como a Economia Circular.

3.3 Economia Circular e suas dimensões

Devido à situação do planeta e degradação do meio ambiente, várias organizações em todo o mundo têm realizado pesquisas sobre a aplicação dos princípios da Economia Circular, segundo a qual é possível alcançar uma produção ideal com o mínimo consumo de recursos naturais, minimizando a emissão de gases de efeito estufa e procedendo à reutilização de resíduos (MORIGUCHI, 2007). Nesse cenário, a EC vem ganhando força como uma abordagem para alcançar a sustentabilidade local, nacional e global (SCHROEDER et al., 2019).

O conjunto de mudanças no panorama econômico e social tem sugerido que o tradicional modelo econômico linear baseado em “extrair, produzir, descartar” recursos para a produção deve ser substituído por um modelo circular que equilibre os aspectos econômicos, naturais e sociais, fundamentado em três princípios: *i*) Promover a eliminação de resíduos e poluição desde o princípio do processo de produção, consumo e descarte; *ii*) Estimular a manutenção de produtos e materiais em uso, por um maior número possível de etapas de processamento para a produção e consumo, e *iii*) Regeneração de sistemas naturais – dar mais detalhes (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2022). De acordo com Merli et al. (2018), a Economia Circular visa substituir o padrão linear de produção e consumo, promovendo a transição para um sistema circular em que o valor dos produtos, materiais e recursos é mantido na economia pelo maior período de tempo possível.

Ghisellini et al. (2016) argumentam que a EC está baseada na adoção de três “ações” principais, ou seja, os chamados Princípios dos 3R's: “Redução, Reutilização e Reciclagem”. O princípio da “Redução” tem a finalidade de minimizar *inputs* do sistema produtivo como energia primária, matérias-primas e resíduos, baseado na melhoria da eficiência dos processos de produção (ecoeficiência) e de consumo. Este princípio se apoia na implementação de tecnologias, desenvolvimento de produtos mais compactos e leves, embalagens simplificadas, eletrodomésticos eficientes até um estilo de vida mais simples (GHISELLINI et al., 2016).

O princípio de “Reutilização” corresponde a processos que permitem que produtos ou componentes sejam reutilizados para a mesma finalidade para a qual foram concebidos. Este princípio promove benefícios ambientais, pois exige para o processo de produção uma quantidade menor de recursos, energia e mão de obra, em comparação com a fabricação de novos produtos ou mesmo até com os processos de reciclagem ou descarte (GHISELLINI et al., 2016).

O princípio da “Reciclagem”, por sua vez, envolve a recuperação pela qual resíduos são reprocessados em produtos, materiais ou substâncias. Este princípio inclui o reprocessamento de material orgânico, mas não inclui a recuperação de energia e materiais que serão usados como combustíveis. A reciclagem reduz a quantidade de resíduos que precisam ser tratados e/ou descartados, diminuindo também o impacto ambiental (GHISELLINI et al., 2016).

A Figura 5 ilustra o diagrama do sistema de Economia Circular.

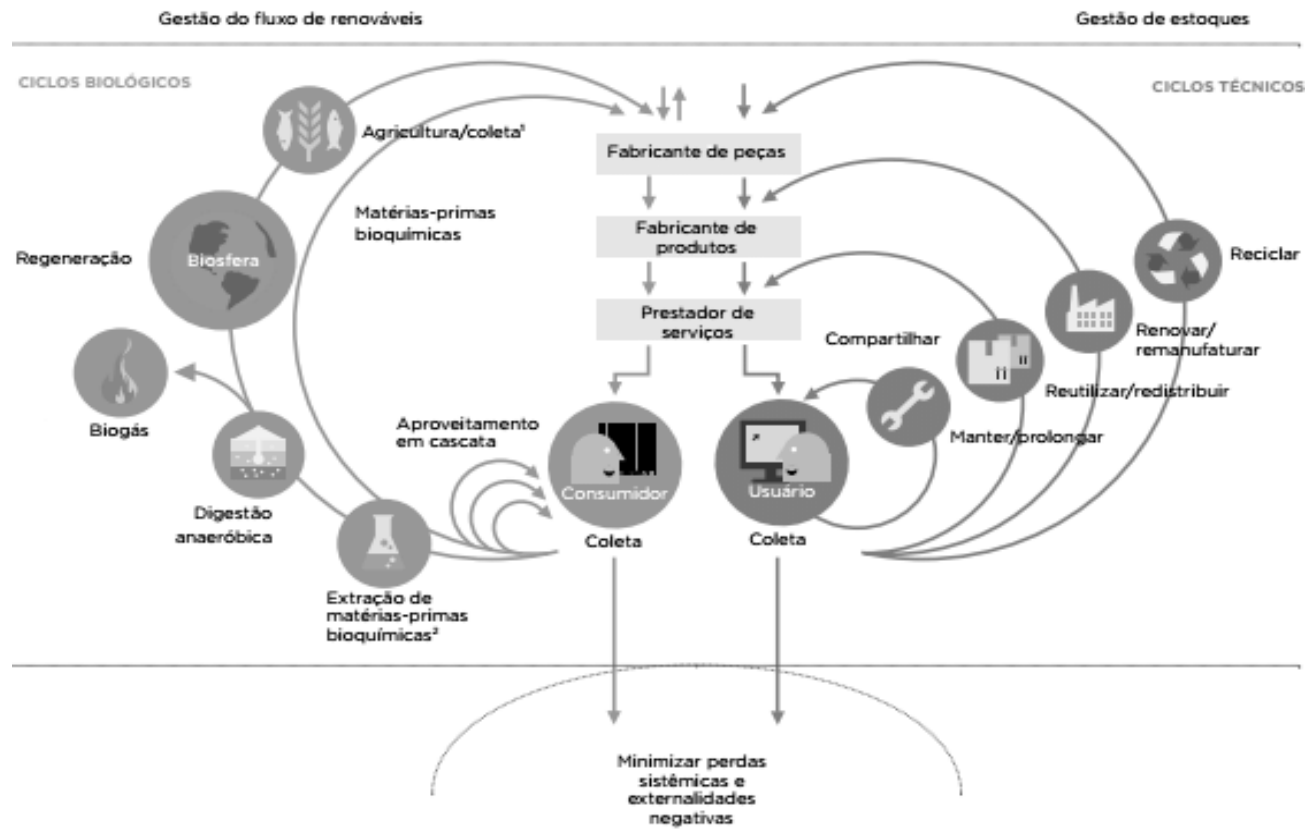


Figura 5. Diagrama do sistema de Economia Circular
 Fonte: Ellen McArthur Foundation (2022)

De acordo com a Figura 5, o conceito de EC pode ser classificado em duas vertentes: *i*) uma que estabelece a forma de gestão do fluxo de renováveis, que são ligados aos ciclos biológicos do meio ambiente, e *ii*) outra voltada à gestão de estoques relacionados aos ciclos técnicos. A gestão do fluxo de renováveis se inicia com a extração/aproveitamento de matérias-primas bioquímicas provenientes de ciclos biológicos da biosfera e da agricultura/coleta. Por sua vez, a gestão de estoques se refere a reciclar, renovar/remanufaturar, reutilizar/redistribuir, manter e prolongar os recursos e resíduos do sistema de produção e consumo. As duas classificações de gestão retroalimentam o sistema de produtivo para a fabricação de peças, produtos e serviços que atendem aos consumidores e usuários com a finalidade de minimizar perdas sistêmicas e externalidades negativas.

Conforme apresentado, a EC refere-se a formas de promover um processo de ciclo contínuo de desenvolvimento de atividades que tenham o intuito de preservar e valorizar o capital natural. Para essa finalidade, o propósito é manter pelo maior tempo possível a utilização de produtos, componentes e materiais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2022). Contextos aos quais a EC se aplica, abrangem a geração de energias renováveis e descarbonização (XU et al., 2022; KHAN et al., 2022; KASTANAKI e GIANNIS; 2022; SZÉP et al., 2022; KOYTSOUMPA et al., 2021), tratamento de água (JAMES e YADAV, 2022; KUNDU et al., 2022; SUN et al., 2022; NGUYEN et al., 2022; CASTELLET-VICIANO et al., 2022), agricultura e uso do solo (WANG et al., 2022; MARCZAK et al., 2022; SGROI, 2022; ROSSETTO et al., 2022; HADER et al., 2022), geração de resíduos sólidos (CHEAH et al., 2022; ZHANG, et al., 2022; BIJOs et al., 2022; HOANG et al., 2022; MAHYARI et al., 2022), de resíduos eletrônicos (PAN et al., 2022, MAPHOSA e MAPHOSA, 2022; COMPAGNONI, 2022; RAMPRASAD et al., 2022; EFSTRATIADIS e MICHAILIDIS, 2022), resíduos plásticos (MOSHOOOD et al., 2022; JIA et al., 2022; GALVE et al., 2022; LUBONGO e ALEXANDRIDIS, 2022; ROSENBOOM et al., 2022), resíduos de madeira e construção civil (PICCARDO e HUGHES, 2022; PIISPANEN et al., 2022; KROMOSER et al., 2022; DE CARVALHO ARAÚJO et al., 2022; DE KLERK et al., 2022), resíduos de minérios (MATTOS NASCIMENTO et al., 2022; PAUNOVIĆ e GROZDANOV, 2022; NEUMANN et al., 2022; FIVET, 2022; LIMA et al., 2022), entre outros.

A EC pode ser classificada em três níveis de aplicação: *i*) micro, ou seja, direcionado à estrutura organizacional/empresarial; *ii*) meso, que envolve a interdependência dentre empresas ou parques industriais; e *iii*) macro, direcionado a municípios, estados ou países, que busca avaliar e monitorar políticas ambientais (GHISELLINI et al., 2016; YUAN et al., 2006).

Sendo assim, a EC visa proporcionar um ciclo de vida de produtos e recursos mais duradouro e processos mais eficientes por tratar resíduos de forma mais adequada, o que pode diminuir os impactos negativos ao meio ambiente e promover o desenvolvimento sustentável (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2022).

A implementação da EC envolve mudanças em toda a estrutura dos sistemas produtivos e de consumo no longo-prazo. As tecnologias digitais são vistas como um suporte que pode apoiar o desenvolvimento da EC, promovendo os processos de virtualização, desmaterialização, transparência e inteligência, gerada por ciclos de retroalimentação. Essa estratégia gera oportunidades econômicas e de negócios, e proporciona benefícios ambientais e sociais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2022).

Por outro lado, Merli et al. (2018) argumentam que o conceito de EC ainda está em evolução e requer desenvolvimento para consolidar sua definição, limites, princípios e práticas associadas, assim como os estudos devem direcionar esforços às estratégias de mudanças sociais, institucionais e de abrangência mundial – aquelas que abrangem o nível macro.

A EC encontra muitos desafios para se tornar uma realidade, seja por causa da falta de incentivos políticos e/ou pela falta de iniciativas das organizações privadas em desenvolver novos modelos de produção (CORRÊA e CORRÊA, 2020). De acordo com Bocken et al. (2017), os estudos sobre EC devem ser direcionados às estratégias de mudanças sociais e institucionais com a finalidade de repensar e reformular o processo de produção e consumo. Sánchez-Ortiz et al. (2020) argumenta que o principal objetivo da EC é que os recursos naturais consumidos na produção tenham vida ilimitada por meio do reaproveitamento dos resíduos gerados pelo próprio processo produtivo e dos produtos, uma vez que estes se tornam resíduos. Essa dinâmica poderia resolver em parte a crescente demanda por recursos naturais cada vez mais escassos e promover o desenvolvimento de políticas de abrangência mundial (SÁNCHEZ-ORTIZ et al., 2020).

3.4 Economia Circular como estratégia para a realização dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio

Em relação ao contexto macro, Schroeder et al. (2019) identificaram a relevância de práticas de EC para a realização dos ODS. A questão de pesquisa abordada por Schroeder et al., (2019) foi: “*Até que ponto as práticas de EC são relevantes para a implementação dos ODS?*” O método de pesquisa qualitativa aplicado consistiu em um procedimento de quatro etapas, incluindo pesquisa bibliográfica e revisão narrativa (passo 1), um exercício de correspondência (passo 2), uma avaliação sobre o grau de contribuição das práticas de EC às

metas dos ODS (etapa 3) e uma revisão e identificação de lacunas (passo 4). Este procedimento foi repetido três vezes.

No total, mais de 100 trabalhos identificados na literatura foram revisados e informaram o exercício de correspondência EC e ODS. O conceito adotado de EC para fazer a correspondência com os ODS foi o adotado pela *European Environmental Agency*:

“O conceito pode, em princípio, ser aplicado a todos os tipos de recursos naturais, incluindo materiais bióticos e abióticos, água e terra, ecodesign, reparo, reutilização, reforma, remanufatura, compartilhamento de produtos, prevenção de resíduos e reciclagem de resíduos são importantes em uma economia circular” (EEA, 2016 pág. 9).

Schroeder et al. (2019) incluíram práticas de EC que são praticadas não apenas na manufatura e gestão de resíduos municipais, mas também em setores como silvicultura e agricultura, que são particularmente relevantes para os contextos de países em desenvolvimento.

A extração de informações da literatura foi feita pesquisando o texto e identificando práticas específicas de EC também como o tipo de problema do mundo real abordado nos trabalhos selecionados como, por exemplo, gestão de resíduos, poluição da água, emprego ou melhoria do solo. Esta informação era recolhida em um formulário de extração de dados, que serviu de base para uma tabela de avaliação. Para o exercício de correspondência, a regra de busca foi identificar para quais metas dos ODS (de todas as 169 metas dos ODS) a prática de EC pode oferecer uma solução ou contribuição (SCHROEDER et al., 2019).

Utilizou-se um exercício exploratório de correspondência usando uma grade simples de avaliação composta por cinco categorias para determinar a relação qualitativa entre as práticas de EC e as 169 metas dos ODS: (1) Contribuição direta/forte das práticas de EC para atingir o objetivo; (2) Contribuição indireta (via outras metas dos ODS); (3) Progresso no alvo apoia a adoção de práticas de EC; (4) Ligação fraca ou inexistente; e (5) Oportunidade de cooperação para promover práticas de EC, conforme apresentado na Figura 6 (SCHROEDER et al., 2019). A Figura 6 ilustra a relação entre os ODS e práticas de EC.

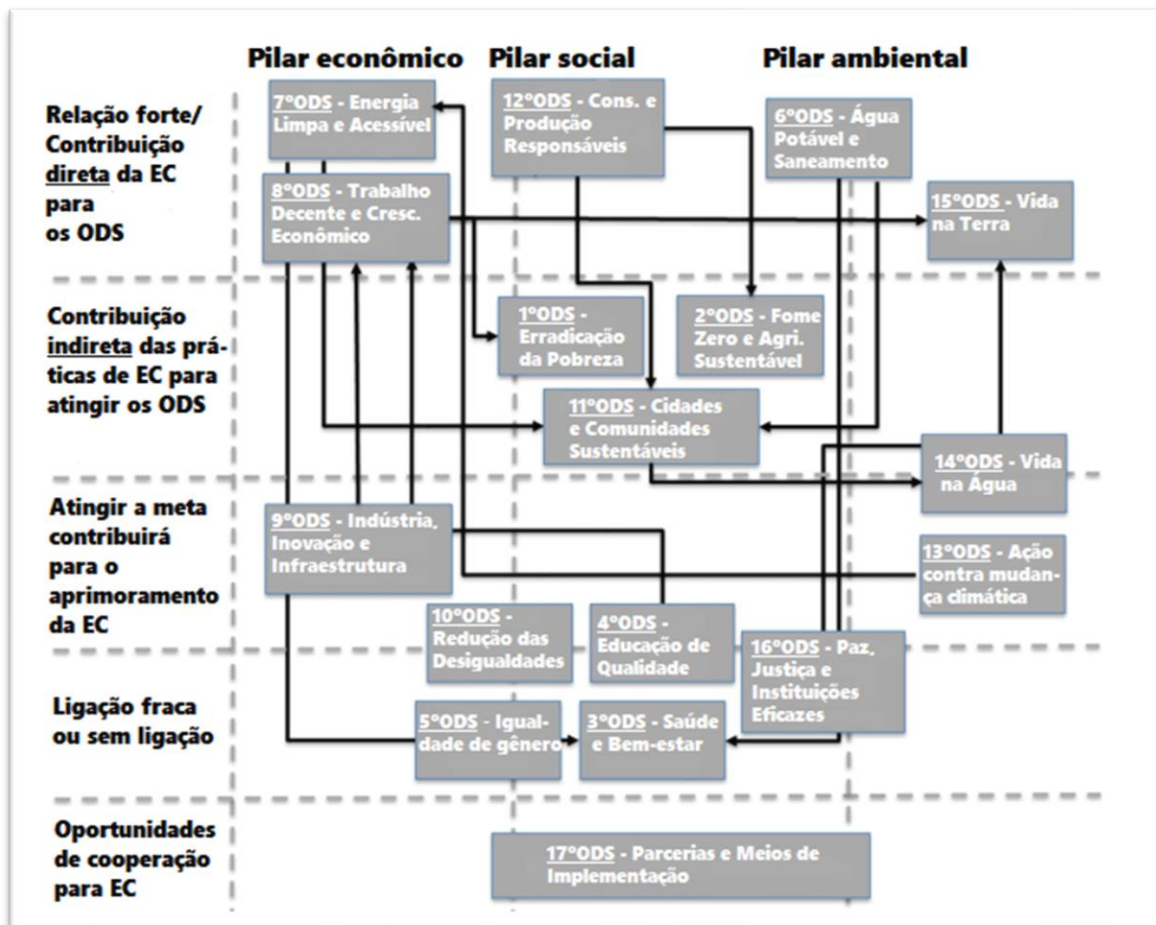


Figura 6. Relação entre os Objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e práticas de Economia Circular (EC)

Fonte: Schroeder et al. (2019)

Em seguida, depois de atribuir cada uma das metas dos ODS a uma das cinco categorias, como próximo passo, foram calculadas as pontuações gerais da “relação práticas” de EC-metas dos ODS. As pontuações gerais geradas por este exercício de mapeamento mostram que as práticas de EC podem contribuir diretamente para o alcance de 21 das metas e indiretamente contribuir para o alcance de 28 metas adicionais (SCHROEDER et al., 2019).

As relações e sinergias mais fortes entre as práticas de EC e as metas dos ODS estão no ODS 7º (Energia Limpa e Acessível), 8º (Trabalho Decente e Crescimento Econômico), 12º (Consumo e Produção Responsáveis), 6º (Água Potável e Saneamento) e 15º (Vida Terrestre), com pontuações altas tanto para contribuições diretas quanto indiretas (SCHROEDER et al., 2019).

Sendo assim, os ODS impactados indiretamente pela EC são 1º (erradicação da pobreza), 2º e 14º ODS. Os seguintes ODS: 4º (educação de qualidade), 9º (indústria, inovação e infraestrutura), 10º (redução das desigualdades), 13º (ação contra a mudança global do clima),

16º (paz, justiça e instituições eficazes) e 17º (parcerias e meios de implementação), mostram-se interrelacionados, ou seja, uma relação em que o progresso contribuiria positivamente para a adoção das práticas de EC globalmente (SCHROEDER et al., 2019).

Os autores reconhecem que a avaliação final do exercício de correspondência é, até certo ponto, baseada em julgamento subjetivo e não otimizada, mas que o método e os resultados apresentaram-se robustos e refletem com precisão as contribuições potenciais das práticas de EC para a agenda dos ODS (SCHROEDER et al., 2019).

Além disso, Schroeder et al. (2019) argumentam que, para que práticas avançadas de EC e modelos de negócios, como remanufatura, cadeias de suprimentos de ciclo fechado ou *Product-Service System* (PSSs) funcionem para os ODS, são necessários mais esforços em treinamento de habilidades, programas de capacitação, desenvolvimento de tecnologia e parcerias multissetoriais. Será necessário o envolvimento ativo das empresas ao longo das cadeias de suprimentos globais.

Além disso, os autores destacaram que pesquisas empíricas são necessárias para determinar quais tipos específicos de parcerias e meios de implementação são necessários para aplicar as práticas de EC no contexto dos ODS (SCHROEDER et al., 2019).

No presente estudo, os ODS selecionados para a análise foram: 6º: Água Potável e Saneamento; 7º: Energia Limpa e Acessível; 12º: Consumo e Produção Responsáveis; e 15º: Vida Terrestre, com suas respectivas metas detalhadas na Tabela 3, conforme Schroeder et al. (2019).

Tabela 3. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS) e Metas dos ODS selecionados para o presente estudo

(continua)

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)	Metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio
6. Água Potável e Saneamento	<p>Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos.</p> <p>Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas em situação de vulnerabilidade</p> <p>Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente</p> <p>Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água</p>

Tabela 3. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS) e Metas dos ODS selecionados para o presente estudo

(continuação)

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)	Metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio
6. Água Potável e Saneamento	<p>Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado</p> <p>Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos.</p> <p>Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso</p> <p>Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento.</p>
7. Energia Acessível e Limpa	<p>Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia.</p> <p>Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.</p> <p>Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética</p> <p>Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa.</p> <p>Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio.</p>
12. Consumo e Produção Responsáveis	<p>Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais.</p> <p>Até 2030, reduzir pela metade o desperdício de alimentos <i>per capita</i> mundial, nos níveis de varejo e do consumidor, e reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita.</p> <p>Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.</p> <p>Incentivar as empresas, especialmente as empresas grandes e transnacionais, a adotar práticas sustentáveis e a integrar informações de sustentabilidade em seu ciclo de relatórios.</p> <p>Promover práticas de compras públicas sustentáveis, de acordo com as políticas e prioridades nacionais.</p> <p>Até 2030, garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza.</p> <p>Apoiar países em desenvolvimento a fortalecer suas capacidades científicas e tecnológicas para mudar para padrões mais sustentáveis de produção e consumo.</p> <p>Incentivar as empresas, especialmente as empresas grandes e transnacionais, a adotar práticas sustentáveis e a integrar informações de sustentabilidade em seu ciclo de relatórios.</p> <p>Promover práticas de compras públicas sustentáveis, de acordo com as políticas e prioridades nacionais.</p> <p>Até 2030, garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza</p> <p>Desenvolver e implementar ferramentas para monitorar os impactos do desenvolvimento sustentável para o turismo sustentável, que gera empregos, promove a cultura e os produtos locais.</p> <p>Racionalizar subsídios ineficientes aos combustíveis fósseis, que encorajam o consumo exagerado, eliminando as distorções de mercado, de acordo com as circunstâncias nacionais, inclusive por meio da reestruturação fiscal e a eliminação gradual desses subsídios prejudiciais, caso existam, para refletir os seus impactos ambientais, tendo plenamente em conta as necessidades específicas e condições dos países em desenvolvimento e minimizando os possíveis impactos adversos sobre o seu desenvolvimento de uma forma que proteja os pobres e as comunidades afetadas.</p>
15. Vida Terrestre	<p>Até 2030, combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo.</p> <p>Até 2030, assegurar a conservação dos ecossistemas de montanha, incluindo a sua biodiversidade, para melhorar a sua capacidade de proporcionar benefícios que são essenciais para o desenvolvimento sustentável.</p> <p>Tomar medidas urgentes e significativas para reduzir a degradação de habitat naturais, deter a perda de biodiversidade e, até 2020, proteger e evitar a extinção de espécies ameaçadas</p> <p>Garantir uma repartição justa e equitativa dos benefícios derivados da utilização dos recursos genéticos e promover o acesso adequado aos recursos genéticos</p> <p>Tomar medidas urgentes para acabar com a caça ilegal e o tráfico de espécies da flora e fauna protegidas e abordar tanto a demanda quanto a oferta de produtos ilegais da vida selvagem</p> <p>Mobilizar recursos significativos de todas as fontes e em todos os níveis para financiar o manejo florestal sustentável e proporcionar incentivos adequados aos países em desenvolvimento para promover o manejo florestal sustentável, inclusive para a conservação e o reflorestamento.</p>

Tabela 3. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS) e Metas dos ODS selecionados para o presente estudo

(conclusão)

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)	Metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio
15. Vida Terrestre	<p>Até 2020, implementar medidas para evitar a introdução e reduzir significativamente o impacto de espécies exóticas invasoras em ecossistemas terrestres e aquáticos, e controlar ou erradicar as espécies prioritárias.</p> <p>Até 2020, integrar os valores dos ecossistemas e da biodiversidade ao planejamento nacional e local, nos processos de desenvolvimento, nas estratégias de redução da pobreza e nos sistemas de contas.</p> <p>Mobilizar e aumentar significativamente, a partir de todas as fontes, os recursos financeiros para a conservação e o uso sustentável da biodiversidade e dos ecossistemas.</p> <p>Reforçar o apoio global para os esforços de combate à caça ilegal e ao tráfico de espécies protegidas, inclusive por meio do aumento da capacidade das comunidades locais para buscar oportunidades de subsistência sustentável.</p>

Fonte: ONU (2015).

Steiner (2020) reconheceu o retrocesso causado aos ODS devido à COVID-19, mas destacou o papel importante do G20 como incentivador para colocar os ODS de volta sinergicamente nos trilhos, devido à sua enorme capacidade de crescimento econômico global e à necessidade de enfrentar os desafios ocasionados pela pandemia.

Portanto, os líderes do G20 devem apoiar enfaticamente a agenda 2030 e comprometer-se a implementar os ODS em seus próprios países, em suas políticas globais e são peças chaves para articular uma cooperação mundial (KLOKE-LESCH, 2015)

Considerando tais definições, ao buscar a otimização e eficiência de sistemas produtivos relacionados ao *trade-off* de crescimento econômico *versus* desenvolvimento sustentável, os métodos para a mensuração de eficiência e produtividade têm ganhado cada vez mais destaque na literatura como a DEA e o *Malmquist Productivity Index* (MPI) (seções 4.1 e 4.2), possibilitando o desenvolvimento de indicadores de EC.

De acordo com Coelli et al. (2005), a eficiência de um sistema produtivo pode ser definida como a capacidade de utilizar a mínima quantidade de *inputs* sem diminuir a quantidade produzida de *outputs*. Sendo assim, a DEA tem sido amplamente utilizada na literatura para a avaliação da EC (BRONNER et al., 2022; LU et al., 2022; CHEN e LIU, 2022; WANG et al., 2021; LOMBARDI et al., 2021; CHEN et al., 2021; LI et al., 2020; WANG et al., 2019; HALKOS e PETROU, 2019; LIU et al., 2019). Alguns trabalhos também aplicaram o MPI (LI et al., 2022; KRIŠT'AKOVÁ et al., 2021; DING et al., 2020; MAVI e MAVI, 2019; WANG et al., 2012).

4 MÉTODO DE PESQUISA

Para alcançar os objetivos geral e específicos apresentados no Capítulo 1, esta tese faz uso de metodologias distintas, mas que se complementam nas análises feitas. Para mensurar a eficiência entre os países do G20 na adoção de práticas da Economia Circular e para o progresso das metas de ODS, utiliza-se a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*) (item 4.1). Com a finalidade de calcular a evolução da produtividade para cada país, relacionada a alterações tecnológicas (AT) e alterações de eficiência (AE), utiliza-se o *Malmquist Productivity Index* (MPI) (item 4.2). Adicionalmente, procede-se a uma validação econométrica da relação dos *inputs* com os *outputs* para desenvolver os modelos de eficiência e produtividade, com estimativas de painel empregando Mínimos Quadrados Generalizados Factíveis (MQGF) (“*Feasible Generalized Least Squares*” - FGLS) (item 4.3). O item 4.4, por sua vez, apresenta as variáveis selecionadas para os modelos de eficiência e produtividade de cada um dos ODS selecionados para a análise, segundo critério descrito no item 3.3. Esses foram: 6º ODS (Água Potável e Saneamento), 7º ODS (Energia Limpa e Acessível), 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis) e 15º ODS (Vida Terrestre). E por fim, o item 4.5 sintetiza a estratégia empírica, ou seja, o conjunto das ferramentas apresentadas nas etapas aplicadas.

4.1 *Data Envelopment Analysis* (DEA)

A Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*) é amplamente utilizada para calcular o grau de eficiência de unidades produtivas que realizam a mesma atividade. Logo, dependendo do objetivo proposto, ajusta-se a análise de eficiência em que se pretende maximizar (ou minimizar) os *outputs* (ou *inputs*), cujos resultados auxiliam os processos de tomada de decisão, principalmente em ambientes competitivos (DE ALMEIDA et al., 2006).

Caracterizada por ser um método de propriedades não paramétricas, a DEA é baseada em Programação Matemática, que permite minimizar ou maximizar funções com ou sem restrições para a amostra selecionada (COOK et al., 2014). De acordo com Bemowski (1991), um grande avanço na teoria da produção foi o desenvolvimento da Programação Matemática Linear, uma vez que permite, dentro de um sistema produtivo, identificar um *benchmark*, ou seja, a melhor performance alcançada que pode ser utilizado como uma referência.

Nesse contexto, a DEA mede a eficiência relativa das Unidades de Tomada de Decisão (DMUs), que são responsáveis por transformar insumos (*inputs*) em produtos (*outputs*). O valor da eficiência varia entre 0 e 1; quanto mais próximo de 1, significa que a DMU é mais eficiente.

Em seguida, elabora-se um *ranking* das DMUs, considerando como mais eficientes aquelas que utilizam o valor mínimo de seus *inputs* sem alterar o nível de seus *outputs* (COOK et al., 2014).

De acordo com Tone (2001), a DEA é utilizada para medir a eficiência relativa das DMUs com múltiplos *inputs* e *outputs* (TONE, 2001). De maneira geral, os objetivos da DEA são sempre duplos. Primeiro, busca-se um ponto de projeção na fronteira de produção para avaliar a eficiência das DMUs. Em segundo lugar, a DEA compara DMUs ineficientes com seus pares na fronteira para avaliar sua (in)eficiência relativa (LAHOUEL, 2016).

Nunamaker (1985) destaca critérios para a seleção das DMUs do sistema produtivo em análise. O primeiro sugere que o número de DMUs analisado deve ser de pelo menos três vezes a soma dos *inputs* e *outputs* utilizados no modelo de eficiência. Um segundo diz respeito ao caráter de homogeneidade das DMUs em suas funções, ou seja, as DMUs devem realizar a mesma função, sendo uma condição necessária para efetuar comparações e calcular a eficiência relativa (NUNAMAKER, 1985). A Figura 7 ilustra o processo de eficiência de um sistema produtivo por meio da DEA.

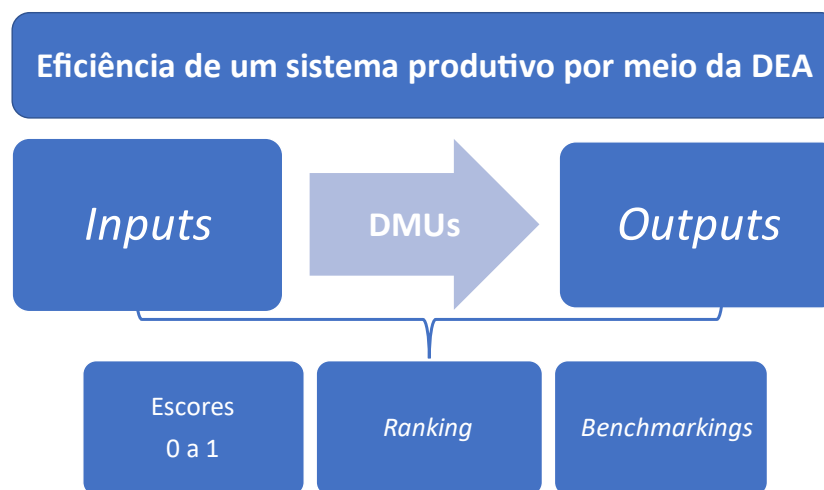


Figura 7. Processo de eficiência de um sistema produtivo por meio da DEA

Fonte: Elaboração própria

Conforme indicado na Figura 7, por meio da DEA, para se calcular a eficiência de um sistema produtivo é necessário identificar seus *inputs* e *outputs*. As DMUs são responsáveis por transformar *inputs*, que são as entradas do processo em *outputs*, que são as saídas. Como resultado, é possível obter os escores de eficiência (de 0 a 1) de cada DMU. As DMUs são comparadas para formar um *ranking* e apontar aquelas que podem ser consideradas *benchmarkings*, ou seja, que são eficientes e podem servir de modelo de melhores práticas. O *benchmark*, ou fronteira eficiente seria o resultado da otimização individual. A fronteira

definida pelo conceito de Pareto – Koopmans define o valor máximo (Koopmans; 1951). Sendo assim, faz-se uma projeção a partir de dados de *inputs* e *outputs* para cada DMU para definir a medida de eficiência como a distância de um ponto até sua projeção na função fronteira.

Avkiran (2001) argumenta que inicialmente, a DEA era voltada para mensurar a eficiência de organizações sem fins lucrativos, mas sua utilização se expandiu, passando a determinar a eficiência de hospitais, escolas, bancos entre outras instituições. Em cenários que relacionam gastos governamentais e políticas ambientais direcionadas à sustentabilidade, a DEA tem sido amplamente aplicada para medir a eficiência de países, regiões e cidades (MA et al., 2021; GUO et al., 2021; JIALU et al., 2022; LU e ZHANG, 2022; FENG, 2022; LUO e ZHANG, 2022; WU et al., 2022; GUO et al., 2022; HAN, 2023; ALVES JUNIOR et al., 2022; JIAO et al., 2022; CHEN et al., 2022).

A DEA foi baseada em estudos prévios de Farrell (1957) para medir a eficiência produtiva da indústria em que se espera aumentar seus *outputs* (saídas) por meio de ganhos de eficiência, ou seja, sem exigir mais *inputs* (entradas). A primeira apresentação do DEA foi em 1978, por Charnes, Cooper e Rhodes (CCR), com o modelo CCR que mede a eficiência com Retornos Constantes de Escala (CRS) (CHARNES et al., 1978). Posteriormente, para verificar ganhos de escala de eficiência, Banker, Charnes e Cooper (BCC) criaram o modelo BCC que mensura a eficiência com Retornos Variáveis de Escala (VRS) (BANKER et al., 1984).

Ao longo da evolução da DEA, Mariano e Rebelatto (2014), destacaram que vários modelos foram desenvolvidos e se diferenciam principalmente por: *i*) tipo de retorno de escala (crescente, constante ou decrescente); *ii*) se modelo radial ou não-radial; *iii*) segundo a orientação (ao *input* ou *output*); e *iv*) a própria combinação das variáveis do sistema em análise (*inputs* e *outputs*).

O modelo *Slack-Based Measure* (SBM) foi selecionado para mensurar a eficiência no presente trabalho. Tone (2001) desenvolveu o SBM, que utiliza as folgas - definidas como a quantidade pela qual algum *input* pode ser reduzido ou algum *output* aumentado, sem piorar nenhum outro *input* ou *output* - para construir um índice de eficiência. A eficiência representa, por sua vez, uma redução média de *inputs* e um aumento médio de *outputs* necessários para atingir a fronteira de eficiência baseada nas folgas. Ao contrário das medidas CCR e BCC, que se baseiam na redução proporcional (alargamento) dos vetores de *inputs* e *outputs* e que não levam em conta as folgas, o SBM trata diretamente do excesso de *inputs* e do déficit de *outputs*, denominados folgas. Sendo assim, o modelo SBM tem como objetivo a soma (ponderada) das folgas e assim consegue discriminá-las entre DMUs eficientes e ineficientes, além de satisfazer propriedades como invariância unitária e monótona em relação às folgas (TONE, 2001).

Outro ponto a destacar do SBM é que este consiste em um modelo não-radial, diferente dos modelos CCR e BCC, que são radiais. Isso significa que o SBM minimiza os *inputs* e maximiza os *outputs* simultaneamente. Por outro lado, dependendo do propósito do modelo de eficiência, o SBM também pode ser modificado para lidar com a orientação de *inputs* ou *outputs* como em casos especiais (TONE, 2001). Na presente pesquisa optou-se por aplicar o SBM orientado ao *output*. Isso significa que procurou-se maximizar os *outputs* dos modelos de eficiência e não necessariamente reduzir os *inputs*.

O SBM pode ser dividido em dois componentes, relativos a *inputs* e *outputs*, respectivamente. Portanto, sua eficiência global é a multiplicação dos dois componentes. Assim, para determinar a eficiência de uma DMU (x_{j0}, y_{j0}) , o modelo SBM sob Retornos Variáveis de Escala (VRS) é demonstrado nas equações de 1 a 5 (TONE, 2001).

$$\text{Min. } \tau = t - (1/m) \sum_{i=1}^m S_i^- / x_{i0} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$t + (1/s) \sum_{r=1}^s S_r^+ / y_{r0} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^z \Lambda_k x_{ik} + S_i^- - t x_{i0} = 0 \quad i=1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^z \Lambda_k y_{rk} - S_r^+ - t y_{r0} = 0 \quad r=1, 2, \dots, s \quad (4)$$

$$\Lambda_k \geq 0, S_i^- \geq 0, S_r^+ \geq 0, e t > 0 \quad (5)$$

Em que: τ = eficiência, t = variável de linearização do modelo, S_i^- = a folga do *input* i , S_r^+ = a folga do *output* r , Λ_k = a participação da DMU k na meta da DMU em análise, x_{i0} = quantidade do *input* i da DMU em análise, y_{r0} = quantidade do *output* da DMU em análise, x_{ik} = quantidade do *input* i do DMU k , y_{rk} = quantidade do *output* r da DMU k , z = número de unidades analisadas, m = número de *inputs*, e s = número de *outputs*.

Para assumir Retornos Variáveis de Escala (VRS), é necessário adicionar a restrição da Equação 6.

$$\sum_{k=1}^z \Lambda_k = t \quad (6)$$

O modelo SBM permite a incorporação do pressuposto de retornos variáveis de escala, o que possibilita determinar os ganhos de escala na eficiência (DYCKHOFF e SOUREN, 2020). Em razão da heterogeneidade dos países do G20, optou-se pelo modelo com retornos variáveis de escala, que leva em consideração a escala de cada DMU (país).

Nesse caso, baseado no modelo BCC (BANKER et al., 1984), que foi o primeiro modelo a considerar retornos variáveis de escala. Uma vantagem dessa especificação em relação ao modelo CCR (CHARNES et al., 1978), é que deixa de existir a premissa de proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*, ou seja, de que é impossível aumentar o *output*, sem aumentar o *input* ou se reduzir *inputs* sem a redução de *outputs*, o que mantém o retorno de escala constante. No modelo BCC, por sua vez, calcula-se a eficiência que considera a eficiência de escala da DMU, não se assume o princípio de proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*, sendo possível interpretar a eficiência em diferenças de escala.

Entre os componentes do G20 encontra-se o bloco da União Europeia (UE). Neste estudo optou-se, no entanto, por retirar a UE e inserir apenas os países do bloco que detêm os maiores níveis de PIB: Alemanha, França, Itália e Reino Unido. Sendo assim, neste trabalho são consideradas 19 DMUs (países) nos modelos de eficiência propostos, que são: Argentina, Austrália, Brasil, Canadá, China, França, Alemanha, Índia, Indonésia, Itália, Japão, Coreia do Sul, Rússia, Estados Unidos, México, Arábia Saudita, África do Sul, Turquia e Reino Unido.

Um ponto importante a considerar em modelos de eficiência voltados a questões ambientais, são os *outputs* indesejáveis, ou seja, são os *outputs*, quando representados como variáveis a serem minimizadas no modelo e não maximizadas (LIU et al. 2015; 2010). Para lidar com *outputs* indesejáveis Scheel (2001) sugere três procedimentos que podem ser aplicados: a) aditivo inverso, b) transladado e c) multiplicativo inverso. O Quadro 2 ilustra essas alternativas e suas respectivas transformações matemáticas.

Quadro 2. Alternativas aplicadas para *outputs* indesejáveis e suas transformações matemáticas

Procedimento	Transformação matemática
a) Aditivo inverso	$f(U) = -U$
b) Transladado	$f_i^k(U) = -u_i^k + \beta_i$
c) Multiplicativo inverso	$f_i^k(U) = 1/u_i^k$

Fonte: Adaptado de Scheel (2001)

O aditivo inverso considera os valores dos *outputs* indesejáveis como *inputs* $f(U) = -U$. Essa técnica transforma os *outputs* indesejáveis em *inputs* a serem minimizados no modelo DEA, ao invés de *outputs* maximizados.

O método transladado adiciona aos valores dos *outputs* indesejáveis um vetor escalar, que os transforma em *outputs* desejáveis $f_i^k(U) = -u_i^k + \beta_i$. Dessa forma, os valores se convertem em *outputs* a serem maximizados.

O processo multiplicativo inverso inverte os valores dos *outputs* indesejáveis $f_i^k(U) = 1/u_i^k$. Dessa forma, o *ranking* de eficiência se mantém ao aplicar a técnica aditiva inversa ou multiplicativa inversa.

Além disso, com a finalidade de incluir o fator temporal aplicou-se a Análise de Janela (*Window Analysis*). Em modelos de eficiências viabilizados pela DEA, esse tipo de análise permite inserir dados em painel de uma DMU, distribuídos em vários períodos para analisar a evolução da eficiência ao longo do tempo (CHARNES et al., 1985)

Sendo assim, a Análise de Janela tem sido amplamente aplicada, combinada com a Análise Envoltória de Dados (DEA), para se verificar a evolução de indicadores ao longo de diferentes períodos. O conceito é semelhante a uma média móvel em que sai um ano e entra outro, e a homogeneidade das DMUs são asseguradas (DE CASTRO CAMIOTO et al., 2014).

Desse modo, para se obter o tamanho de cada janela e o número de janelas a serem agrupadas, recorre-se às Expressões 7 e 8, onde k corresponde ao número de períodos e p , à amplitude da janela (COOPER et al., 2007).

$$\text{Tamanho da janela } (p) = (k + 1)/2 \quad (7)$$

$$\text{Número de janelas} = k - p + 1 \quad (8)$$

4.2 Malmquist Productivity Index (MPI)

O *Malmquist Productivity Index* (MPI) foi desenvolvido por Malmquist (1953) e elaborado como um índice teórico por Caves et al. (1982). Ao longo de sua evolução, baseado

nos fundamentos da DEA, foi aprimorado por Färe e Grosskopf (1992) e posteriormente, popularizado como índice empírico por Färe et al. (1994). Nesse contexto, Färe et al. (1994) reconheceram que a função distância, implícita no MPI era recíproca da medida de eficiência técnica proposta por Farrell (1957). Utilizaram, portanto, a programação linear baseada na DEA, para desenvolver o método DEA-Malmquist que calcula o MPI como medida de produtividade.

O MPI é um número índice generalizado que permite analisar o comportamento ao longo do tempo e comparar as relações de *inputs* e *outputs* entre dois pontos de uma DMU, considerando dois períodos no tempo. Possibilita a comparação, portanto, tanto em relação a uma unidade concorrente, como à sua própria performance ao longo do tempo (MARIANO et al., 2009).

Sendo assim, o MPI tem capacidade de medir a evolução da produtividade ao longo do tempo, considerando um período inicial e final. Além disso, o MPI permite a decomposição da produtividade devido às alterações de fronteira de eficiência (AE) e de tecnologia (AT) (FERREIRA e GOMES, 2009), para que sejam analisados separadamente.

As AE são mensuradas por meio do emparelhamento (*catch-up effect*) das DMUs, ou seja, o quanto uma DMU ficou mais próxima ou mais longe da fronteira de eficiência, verificando se melhorou ou piorou a relação entre *inputs* e *outputs* no período analisado. No caso de um resultado em que as AE são acima de 1 ($AE > 1$), significa que no período houve aumento da eficiência técnica, ou seja, a DMU apresentou uma performance de alcance de melhorias contínuas nos processos de produção, utilizando os mesmos recursos (*inputs*) e a mesma tecnologia (FERREIRA e GOMES, 2009).

As AT, por sua vez, são mensuradas ao analisar os efeitos de deslocamento das DMUs em relação à fronteira (*frontier shift effect*) devido à introdução de tecnologias mais avançadas, i.e., que permitem um resultado melhor em termos de produto, com uma quantidade menor de *inputs* no período analisado. No caso de um resultado em que as AT são acima de 1 ($AT > 1$) a produtividade aumenta devido aos avanços tecnológicos. Neste sentido, para medir a produtividade, o MPI é calculado a partir do efeito relativo das alterações da tecnologia (AT) e das eficiências técnicas (AE) (FERREIRA e GOMES, 2009).

Portanto, o MPI é definido como o produto dos termos *catch-up effect* e do *frontier shift effect*. O termo *catch-up effect* está relacionado ao grau de esforço que a DMU faz para melhorar sua eficiência e é medido pela AE. O termo *frontier shift effect* reflete a mudança nas fronteiras eficientes em torno da DMU entre os dois períodos de tempo e é medido pela mudança tecnológica (TONE e TSUTSUI, 2017).

A interpretação dos resultados dos valores de MPI, AT e AE, indicam que houve melhorias quando os valores são maiores que 1 e perdas de produtividade quando os valores são menores que 1. Sendo assim, O MPI mede a evolução, ao longo de um período final e inicial, da relação entre os *inputs* e *outputs*, sendo a AE, uma medida da evolução da eficiência relativa, tendo como referência a fronteira de eficiência das DMUs e o AT, como medida da evolução da tecnologia, ou seja, alterações na tecnologia que afetam todas as DMUs (FERREIRA e GOMES, 2009).

De acordo com Li et al. (2017), uma vez que a DEA é não-paramétrica, a combinação da DEA-Malmquist permite uma análise dinâmica ao lidar com dados em painel e analisar a mudança da produtividade ao longo do tempo.

Neste estudo, a evolução da produtividade foi calculada por meio do MPI não radial, baseado em folgas, conforme desenvolvido por Tone e Tsutsui (2017). Considera-se o método mais adequado para ser aplicado em estudos que utilizam o DEA-SBM, inclusive, pois esse possibilita avaliar modelos de eficiência com retornos variáveis de escala. Desde então, poucos trabalhos aplicaram este MPI para mensurar as mudanças da produtividade ao longo do tempo (ALVES JUNIOR et al., 2022; BEN LAHOUEL et al., 2022; ZHAO et al., 2019), não tendo sido identificados na literatura, estudos viabilizados por meio deste tipo de MPI, que tratam da produtividade de temáticas relacionadas à EC, ou aos ODS.

O presente trabalho determina os escores de eficiência, por meio do modelo DEA-SBM e aplica o MPI, que permite incluir o fator temporal, para mensurar a produtividade dos países dos países G20, em práticas da EC que contribuem para o progresso na realização de alguns dos ODS. A descrição a seguir se embasa no trabalho de Tone e Tsutsui (2017).

Os escores intertemporais do MPI podem ser calculados pelo modelo Supereficiência, pois permite assumir valores superiores a 1. Segundo Tone e Tsutsui (2017), o Super-SBM não orientado, mesmo sob premissas de VRS, não incorre em problema de inviabilidade. O modelo Super-SBM equivalente com uma forma semelhante ao SBM padrão linear é resolvido como representado nas Equações 9 a 13 (FANG et al., 2013)

$$\text{Minimize } \tau^{\text{super}} = t + \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{H_j^-}{x_{j0}} \quad (9)$$

Sujeito a

$$t - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{H_i^+}{y_{i0}} = 1, \quad (10)$$

$$\sum_{k=1, k \neq 0}^z x_{jk} \cdot \Lambda_k - H_j^- - t \cdot x_{j0} \leq 0 \quad j=1, 2, \dots, m \quad (11)$$

$$\sum_{k=1, k \neq 0}^z y_{ik} \cdot \Lambda_k + H_i^+ - t \cdot y_{i0} \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, n \quad (12)$$

$$H_i^+ \leq y_{i0}, H_i^+ \geq 0, H_j^- \geq 0, \Lambda_k \geq 0, t > 0, \quad (13)$$

Em que τ^{super} = Supereficiência, H_i^+ = a taxa de economia de *inputs* linearizada para o problema linear ($H_i^+ = th_i^+$), H_j^- = a taxa de excedente de *outputs* linearizada para o problema linear ($H_j^- = th_j^-$), h_i^+ = a economia de *inputs* para o modelo de Supereficiência, h_j^- = o excedente de *outputs* para o modelo de Supereficiência. Os outros parâmetros e variáveis são os mesmos das Equações 1 a 5.

Como a hipótese VRS foi investigada, foi necessário adicionar a restrição da Equação 6 (correspondente a retornos variáveis de escala) no modelo de Supereficiência (Equações 9 a 13). O MPI baseado em DEA sob a suposição VRS pode ser calculado de forma semelhante ao MPI proposto por Färe et al. (1994), com base na comparação de eficiências de dois períodos e dois escores intertemporais usando os modelos DEA-VRS. O MPI sob VRS e suas decomposições em mudanças tecnológicas – AT (ou mudança de fronteira) e mudanças de eficiência – AE (*catch-up effect*) são formulados conforme mostrado nas Equações 14 a 16, conforme Cooper et al. (2011).

$$AC_{VRS} = \sqrt{\frac{D_{VRS}^t(x^{t+1}, y^{t+1}) \cdot D_{VRS}^t(x^t, y^t)}{D_{VRS}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}) \cdot D_{VRS}^{t+1}(x^t, y^t)}} \quad (14)$$

$$AE_{VRS} = \frac{D_{VRS}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{VRS}^t(x^t, y^t)} \quad (15)$$

$$IM_{VRS} = \sqrt{\frac{D_{CRS}^t(x^{t+1}, y^{t+1}) \cdot D_{CRS}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{CRS}^t(x^t, y^t) \cdot D_{CRS}^{t+1}(x^t, y^t)}} = TC_{VRS} \cdot EC_{VRS} \quad (16)$$

Em que: $D_{VRS}^t(x^t, y^t)$ representa a eficiência, considerando a escala da DMU em análise no período t em comparação com a fronteira no período t, $D_{VRS}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})$ é a eficiência

considerando a escala da DMU em análise no período $t+1$ em comparação com a fronteira no período $t+1$, $D_{VRS}^t(x^{t+1}, y^{t+1})$ é a pontuação intertemporal considerando a escala da DMU em análise no período $t+1$ em comparação com a fronteira no período t , $D_{VRS}^{t+1}(x^t, y^t)$ é a pontuação intertemporal considerando a escala da DMU em análise no período t em comparação com a fronteira no período $t+1$. Sendo assim, é o MPI, mas usando os modelos sob a suposição VRS.

4.3 Validação econométrica

Como a DEA é uma ferramenta não paramétrica, considera-se adequado validar a relação entre as variáveis de saídas e entradas. Para tal, aplicou-se a Análise de Regressão Linear, em que as variáveis *inputs* são exógenas ou explicativas e as variáveis *outputs* são consideradas como endógenas ou sendo explicadas. Este método consiste na utilização de ferramentas estatísticas que considera a influência de diversas variáveis independentes sobre uma variável dependente, resultando em uma equação que descreve a linha que melhor se ajusta aos dados (KAZMIER, 1982).

Para validar o modelo de eficiência exposto, a variável dependente é um dos *outputs* (saída) do modelo, enquanto o conjunto de variáveis independentes são os *inputs* (entradas). Para esta pesquisa, a aplicação da regressão linear indicou o grau de explicação entre cada saída e cada *output* potencial, conforme expresso na Equação 17.

$$y^{Output}_{it} = \beta_0 + \beta_1 INP1_{it} + \beta_2 INP2_{it} + \beta_3 INP3_{it} + \varepsilon_{it} \quad (17)$$

Em que: y^{Output} : variável dependente (*output*); β_0 : intercepto; β_1, β_2 : coeficiente da variável; $INP1$: *Input* 1; $INP2$: *Input* 2: variável independente; $INP3$: *Input* 3: variável independente; i : i -ésima observação (DMUs); t : t -ésimo período estudado e ε : erro aleatório.

Transformaram-se as variáveis em \ln para a regressão, pois isso torna possível interpretar os parâmetros como elasticidades (GREENE, 2019). Em aplicações de dados em painel é comum estimadores apresentarem problemas de heterocedasticidade, autocorrelação e endogeneidade (GREENE, 2019; WOOLDRIDGE, 2019). Para corrigir esses problemas, optou-se por aplicar o modelo de Mínimos Quadrados Generalizados Factíveis (MQGF) (“*Feasible Generalized Least Squares*” - FGLS), conforme apresentado em Moralles e Rebelatto (2016) e Campoli et al. (2020).

4.4 Seleção das variáveis

Para determinar a eficiência e a produtividade é importante realizar um estudo prévio das variáveis para selecionar aquelas que melhor representam o objeto de estudo. As variáveis selecionadas para os seguintes ODS: 6º Água Potável e Saneamento; 7º Energia Limpa e Acessível; 12º Consumo e Produção Responsáveis, e 15º Vida Terrestre; foram baseadas nos trabalhos selecionados no Capítulo 2, além do banco de dados de indicadores dos ODS da Divisão de Estatística das Nações Unidas (UN Stats, 2022) e no Relatório de Desenvolvimento Sustentável, que faz especificamente um monitoramento de avanço dos países na realização dos ODS (ONU, 2023).

O Quadro 3 apresenta o ODS correspondentes a cada variável, a fonte, a fundamentação teórica e o tipo das variáveis para os modelos de eficiência e produtividade, tendo-se considerado trabalhos que fizeram tal seleção, tal como descritos no Capítulo 2.

Quadro 3. Variáveis selecionadas para representar os modelos de eficiência e produtividade (continua)

ODS	Variável	Fonte	Fundamentação teórica	Tipo
6° (Água Potável e Saneamento)	Percentual da população total que usa pelo menos serviços básicos de água potável (%)	World Bank (2023)	Proposta dessa pesquisa	<i>Output</i>
6° (Água Potável e Saneamento)	Percentual da população total que tem acesso pelo menos serviços de saneamento básico (%)	World Bank (2023)	Roy et al. (2021)	Output
6° (Água Potável e Saneamento)	Recursos internos renováveis de água doce <i>per capita</i> (m ³)	World Bank (2023)	Su e Chen (2021)	<i>Input</i>
6° (Água Potável e Saneamento)	Percentual de tratamento do total de águas residuais (%)	EPI Yale (2022)	Chen et al. (2018), Li et al. (2020)	<i>Input</i>
6° (Água Potável e Saneamento)	Nível de estresse hídrico: retirada de água doce como proporção dos recursos de água doce disponíveis (%)	World Bank (2023)	Proposta dessa pesquisa	<i>Output</i>
7° (Energia Limpa e Acessível)	Percentual de energia renovável do total como fonte de energia primária (%)	OECD (2022)	Proposta dessa pesquisa	<i>Input</i>
7° (Energia Limpa e Acessível) e 12° (Consumo e Produção Responsáveis)	Formação bruta de capital (%) em relação ao PIB total	World Bank (2023)	Chen et al. (2018), Ma et al. (2020), Rusydiana et al. (2021), Kiani Mavi et al. (2022), Liu et al. (2021b), Pu et al. (2021), Zafar et al. (2021), Liu et al. (2021a), Su e Chen (2021), Zakari et al. (2022), Halkos e Petrou (2019), Chen e Yao (2020), Lu et al. (2020), Lacko et al. (2021), Gao et al. (2019), Wang et al. (2021), Huang et al. (2021)	<i>Input</i>
7° (Energia Limpa e Acessível) e 12° (Consumo e Produção Responsáveis)	Força de trabalho (número de trabalhadores)	World Bank (2023)	Chen et al. (2018), Rusydiana et al. (2021), Roy et al. (2021), Liu et al. (2021b), Ibrahim et al. (2021), Pu et al. (2021), Zafar et al. (2021), Liu et al. (2021a), Su e Chen (2021), Zakari et al. (2022), Halkos e Petrou (2019), Lu et al. (2020), Bagheri (2021), Zhang et al. (2022), Gao et al. (2019), Wang et al. (2021), Huang et al. (2021)	<i>Input</i>
7° (Energia Limpa e Acessível) e 12° (Consumo e Produção Responsáveis)	Consumo de eletricidade (TWh)	IEA (2022a)	Liu et al. (2021b), Van Song et al. (2021), Ibrahim et al. (2021), Zafar et al. (2021) e Chen e Yao (2020)	<i>Output</i>
7° (Energia Limpa e Acessível)	Percentual da população total com acesso a eletricidade (%)	World Bank (2022)	Rusydiana et al. (2021)	<i>Output</i>
7° (Energia Limpa e Acessível)	Percentual da população total com acesso a combustíveis limpos e tecnologias para cozinhar (%)	World Bank (2022)	Proposta dessa pesquisa	<i>Output</i>

Quadro 3. Variáveis selecionadas (conclusão)

ODS	Variável	Fonte	Fundamentação teórica	Tipo
7° (Energia Limpa e Acessível) e 12° (Consumo e Produção Responsáveis)	Emissões totais de gases de efeito estufa [GEE] provenientes de combustíveis fósseis (MtCO ₂ eq)	IEA (2022b)	Jalali Sepehr et al. (2019), Ma et al. (2020), Kiani Mavi et al. (2022), Koçak et al. (2021), Zhu e Zhang (2021) e Bagheri (2021), Wang et al. (2021)	Output
12° (Consumo e Produção Responsáveis)	Fornecimento de energia primária (tep)	OECD (2022)	Kiani Mavi et al. (2022), Van Song et al. (2021)	Input
12° (Consumo e Produção Responsáveis)	Consumo doméstico de materiais (t)	UN Stats (2022)	Proposta dessa pesquisa	Output
12° (Consumo e Produção Responsáveis)	Consumo de energia renovável (%) em relação ao consumo total de energia	World Bank (2022)	Jalali Sepehr et al. (2019), Ma et al. (2020), Rusydiana et al. (2021), Roy et al. (2021), Van Song et al. (2021)	Output
15° (Vida Terrestre)	Produto Interno Bruto (PIB) (US\$ a preços de 2015)	World Bank (2022)	Chen et al. (2018) Jalali Sepehr et al. (2019) Ma et al. (2020) Liu et al. (2021b) Van Song et al. (2021) Ibrahim et al. (2021) Zafar et al. (2021) Liu et al. (2021a) Su e Chen (2021) Chen e Yao (2020) Bagheri (2021) Zhang et al. (2022), Wang et al. (2021), Huang et al. (2021)	Input
15° (Vida Terrestre)	Superfície territorial (milhares de hectares)	World Bank (2022)	Proposta dessa pesquisa	Input
15° (Vida Terrestre)	Rendas totais dos recursos naturais (%) em relação ao PIB total	World Bank (2022)	Proposta dessa pesquisa	Output
15° (Vida Terrestre)	Áreas florestais protegidas (%) em relação a superfície territorial total	World Bank (2022)	Proposta dessa pesquisa	Output
15° (Vida Terrestre)	Áreas terrestres e marinhas protegidas (%) em relação à área territorial total	World Bank (2022)	Proposta dessa pesquisa	Output
15° (Vida Terrestre)	Áreas terrestres protegidas (%) em relação à área territorial total	World Bank (2022)	Proposta dessa pesquisa	Output
15° (Vida Terrestre)	Biomassa acima do solo na floresta (toneladas por hectare)	UN Stats (2022)	Proposta dessa pesquisa	Output
15° (Vida Terrestre)	Proporção média de áreas chave de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas (%)	UN Stats (2022)	Proposta dessa pesquisa	Output
15° (Vida Terrestre)	Índice de Lista Vermelha (Risco geral de extinção de espécies) (%)	UN Stats (2022)	Proposta dessa pesquisa	Output

Fonte: Elaboração própria.

Foram consultados os dados disponíveis das bases do Banco Mundial (WORLD BANK, 2022) e do *Environmental Performance Index* (EPI Yale, 2022), Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD; 2022), da Agência Internacional de Energia - *International Energy Agency* (IEA, 2022a; IEA, 2022b), da Divisão de Estatística das Nações Unidas - *United Nations Statistics Division* (UN Stats, 2022). As variáveis apresentadas no Quadro 3 foram utilizadas para realizar a validação econométrica para selecionar os potenciais *inputs* e *outputs* dos modelos de eficiência e produtividade.

4.4.1 Variáveis selecionadas para o 6º ODS (Água Potável e Saneamento)

As variáveis selecionadas para o 6º ODS (Água Potável e Saneamento) corresponderam ao acesso a estes serviços e variáveis ambientais relacionadas à Economia Circular. A Figura 8 ilustra o *framework* da seleção das variáveis para este ODS.

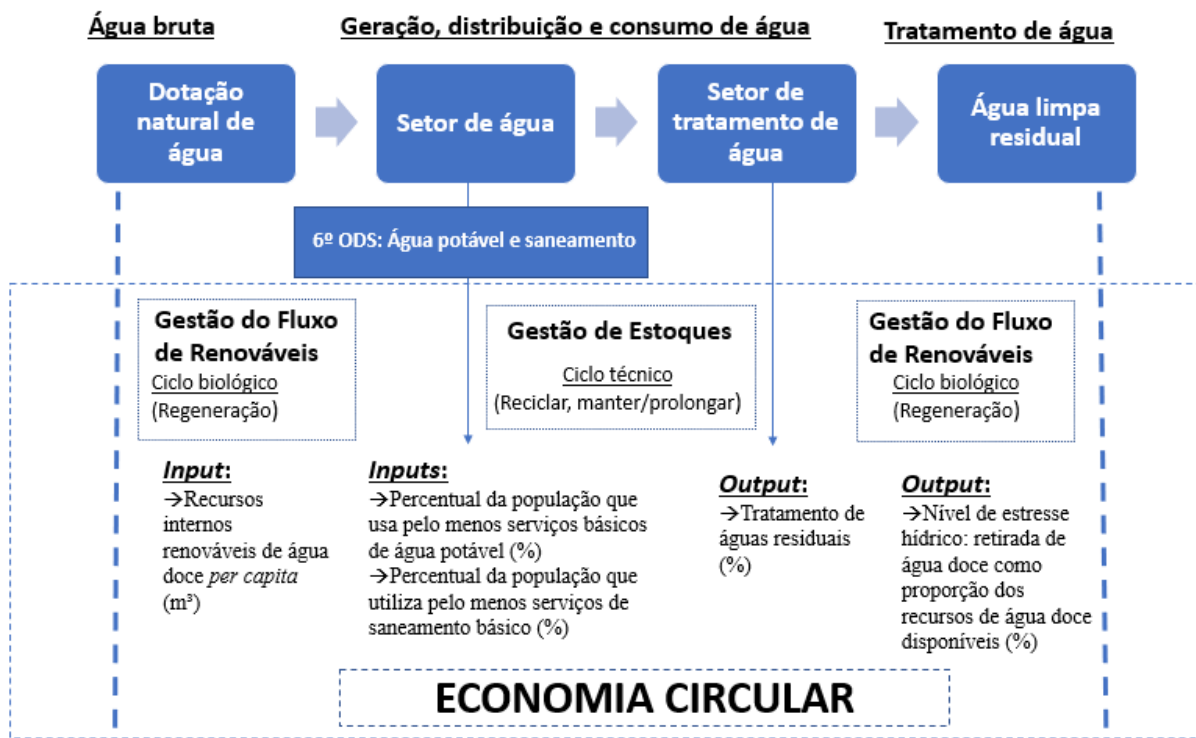


Figura 8. *Framework* da seleção de variáveis do 6º ODS (Água Potável e Saneamento)

Fonte: Elaboração própria baseado em *Ellen McArthur Foundation* (2022) e Bronner et al. (2022).

Com a finalidade de expressar a Economia Circular no 6º ODS (Água Potável e Saneamento), tomou-se como base os conceitos de Economia Circular apresentados na seção 3.3, os fundamentos do Diagrama do Sistema de Economia Circular (*Ellen McArthur Foundation*, 2022) e o trabalho de Bronner et al. (2022), que desenvolveram o conceito de Ciclo

de Água em Economia Circular. Neste ciclo, as etapas da água são classificadas em quatro dimensões: *i*) dotação natural, *ii*) setor de água, *iii*) setor de tratamento de água e *iv*) água limpa residual.

A dotação natural está relacionada a captação de água bruta, além disso situa-se no Diagrama do Sistema de Economia Circular na parte de Gestão do Fluxo de Renováveis. Para representar a dotação natural de um país e sua gestão relacionada ao fluxo de recursos renováveis, no modelo desenvolvido, utilizou-se como *input* a variável recursos internos renováveis de água doce *per capita* (m³). Dessa forma, esta variável representa a capacidade de um país gerar água por meio de seus fluxos fluviais internos e águas subterrâneas provenientes da chuva.

Acompanhando o ciclo em relação a geração, distribuição e consumo de água, encontram-se duas dimensões o setor de água e o setor de tratamento de água, que relacionados a Economia Circular encontram-se na Gestão de Estoques. No modelo desenvolvido, para representar o setor de água e acesso a estes serviços como declarado no 6º ODS (Água Potável e Saneamento), foram selecionadas como *inputs* as variáveis de percentual da população que usa pelo menos serviços básicos de água potável (%) e percentual da população que utiliza pelo menos serviços de saneamento básico (%). Para representar o setor de tratamento de água como parte posterior do processo, utilizou-se como *output* a variável de percentual de tratamento de águas residuais (%).

Para representar o impacto do tratamento de água do setor de água residual, assim como a Gestão de Fluxo de Renováveis, utilizou-se como *output* a variável de nível de estresse hídrico: retirada de água doce como proporção dos recursos de água doce disponíveis (%). Neste sentido, entende-se que se um país consegue obter uma gestão de água coerente com a Economia Circular e um tratamento de água residual adequado, o seu nível de estresse hídrico seria menos afetado.

Sendo assim, elaborou-se uma base de dados para dezoito países do G20: Austrália, Brasil, Canadá, China, França, Alemanha, Índia, Indonésia, Itália, Japão, Coréia, México, Rússia, África do Sul, Turquia, Reino Unido, Arábia Saudita e Estados Unidos. Optou-se por excluir a Argentina, uma vez que o país não tinha dados atualizados – a partir do ano de 2016 - da variável percentual da população que usa pelo menos serviços básicos de água potável. O período da análise foi de 2010 a 2019, devido à disponibilidade de dados, dando-se preferência aos períodos mais atualizados com base de dados padronizada.

A população que usa pelo menos serviços básicos de água potável e de saneamento básico, o tratamento de água poluída e nível de estresse hídrico são dados em percentual. Os

recursos internos renováveis de água doce *per capita* são dados em metros cúbicos (m³). A análise descritiva das variáveis para o 6º ODS é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4. Análise descritiva das variáveis para o 6º ODS (período de 2010-2019)

Variáveis	Obs.	Média	Desv. Pad.	Mín.	Países que atendem ao mínimo	Máx.	Países que atendem ao máximo
Percentual da população que usa pelo menos serviços básicos de água potável ³	180	96,85	4,16	84,44	Indonésia	100,00	Alemanha, Arábia Saudita, França e Reino Unido,
Percentual da população que utiliza pelo menos serviços de saneamento básico ⁴	180	91,01	12,85	42,42	Índia	100,00	Arábia Saudita
Recursos internos renováveis de água doce <i>per capita</i> ⁵	180	11.103,08	19.048,38	66.9879	Arábia Saudita	83.811,48	Canadá
Percentual de tratamento de água poluída ⁶	180	49,35	33,48	0,02	Indonésia	98,51	Reino Unido
Nível de estresse hídrico: retirada de água doce como proporção dos recursos de água doce disponíveis ⁷	180	81,48	207,48	1,42	Brasil	974,17	Arábia Saudita

Fonte: Elaboração própria

No período de análise (2010–2019), considerando os dezoito países do G20, o percentual da população que usa pelo menos serviços básicos de água potável aumentou 0,22%, com o maior acréscimo registrado na Indonésia, de 0,90%. O percentual da população que utiliza pelo menos serviços de saneamento básico subiu em 0,81% entre 2010 e 2019, sendo o aumento mais elevado na Índia de 5,16%.

³ Este indicador abrange tanto as pessoas que usam serviços básicos de água quanto aquelas que usam serviços de água geridos com segurança. Os serviços básicos de água potável são definidos como água potável de uma fonte melhorada, desde que o tempo de coleta não seja superior a 30 minutos para uma viagem de ida e volta. As fontes de água melhoradas incluem água canalizada, furos ou poços tubulares, poços escavados protegidos, nascentes protegidas e água embalada ou entregue (World Bank, 2022).

⁴ Instalações sanitárias melhoradas que não são compartilhadas com outros agregados familiares. Este indicador abrange tanto as pessoas que utilizam serviços de saneamento básico quanto aquelas que utilizam serviços de saneamento gerenciados com segurança. As instalações sanitárias melhoradas incluem descarga/descarga para sistemas de esgoto canalizados, fossas sépticas ou latrinas de fossa; latrinas de fossa melhoradas ventiladas, sanitários compostos ou latrinas de fossa com lajes (World Bank, 2022).

⁵ Os fluxos internos renováveis de água doce referem-se aos recursos renováveis internos (fluxos fluviais internos e águas subterrâneas provenientes da chuva) no país (World Bank, 2022).

⁶ O tratamento de águas residuais é medido como a proporção de águas residuais que passa pelo menos por tratamento primário em cada país, multiplicada pela proporção da população conectada a um sistema de coleta de águas residuais (EPI Yale, 2022).

⁷ É a retirada de água doce como proporção dos recursos de água doce disponíveis é a razão entre o total de água doce retirada por todos os principais setores e o total de recursos renováveis de água doce, depois de levar em consideração os requisitos ambientais de água. O indicador é calculado dividindo a retirada total de água pelo total de recursos hídricos renováveis reais menos os requisitos ambientais e expresso em pontos percentuais. Os principais setores incluem agricultura, silvicultura e pesca, fabricação, indústria de eletricidade e serviços. Este indicador também é conhecido como intensidade de retirada de água (World Bank, 2022).

Os recursos internos renováveis de água doce *per capita* caíram em média 0,84%, com a maior queda na Arábia Saudita de 2,21% e o aumento mais acentuado de 0,12% no Japão. O nível de estresse hídrico, por sua vez, diminuiu em 0,75%, registrando a maior queda de 13,70% no Brasil, e o aumento mais elevado de 4% no México.

4.4.2 Variáveis selecionadas para o 7º ODS (Energia Limpa e Acessível)

As variáveis selecionadas para o 7º ODS (Energia Limpa e Acessível) corresponderam ao abastecimento de energia e variáveis ambientais relacionadas à Economia Circular. A Figura 9 ilustra o *framework* da seleção das variáveis para este ODS.

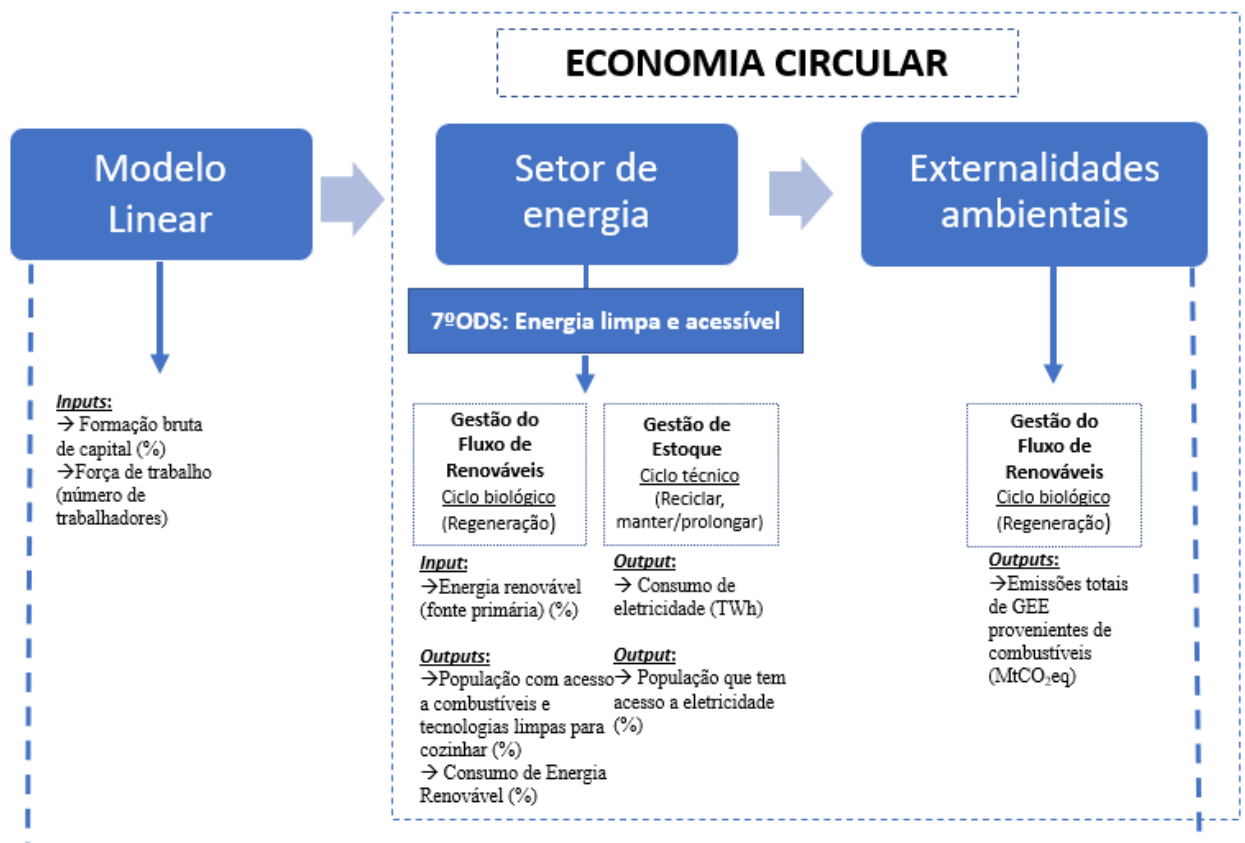


Figura 9. *Framework* da seleção de variáveis do 7º ODS (Energia Limpa e Acessível)

Fonte: Elaboração própria baseado em Ellen McArthur Foundation (2022)

Baseado nos conceitos de Economia Circular apresentados na seção 3.3 e no Diagrama do Sistema de Economia Circular (ELLEN MCARTHUR FOUNDATION, 2022), para representar o modelo linear foram selecionadas como *inputs* as variáveis do percentual de formação bruta de capital em relação ao PIB total e a força de trabalho (número de trabalhadores empregados).

Na Figura 9, é na dimensão do setor de energia que se encontra o 7º ODS (Energia

Limpa e Acessível). Em relação à Economia Circular no contexto de Gestão do Fluxo de Renováveis, selecionou-se como *input* a variável o percentual de energia renovável como fonte primária e como *outputs* variáveis relacionadas ao acesso de energia como: percentual da população com acesso a combustíveis e tecnologias limpas para cozinhar e percentual do consumo de energia renovável em relação ao total. No contexto de Gestão de Estoques foram selecionadas como *outputs* as variáveis de consumo de eletricidade (TWh) e população que tem acesso a eletricidade (% do total). Como externalidades do 7º ODS (Energia Limpa e Acessível) considerou-se como *output* indesejável a variável emissões totais de GEE (MtCO₂eq).

Dessa forma, foi elaborada uma base de dados para dezoito países do G20: Argentina, Austrália, Brasil, Canadá, China, França, Alemanha, Índia, Indonésia, Itália, Japão, Coreia, México, Rússia, África do Sul, Turquia, Reino Unido e Estados Unidos. Optou-se por excluir a Arábia Saudita, uma vez que o país não utiliza energia renovável como fonte primária de energia.

O período da análise foi de 2010 a 2019, devido à disponibilidade de dados, dando-se preferência em considerar os períodos mais atualizados com base de dados padronizada. A análise descritiva das variáveis é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Análise descritiva das variáveis para o 7º ODS (período de 2010-2019)

Variáveis	Obs.	Média	Desv. Padrão	Mín.	Países que atendem ao mínimo	Máx.	Países que atendem ao máximo
Energia renovável como fonte de energia primária ⁸	180	12,22	9,9702	0,7	Coreia do Sul	45,60	Brasil
Formação bruta de capital (% em relação ao PIB) ⁹	180	24,75	7,3449	14,21	Argentina	46,66	China
Força de trabalho ¹⁰	180	116.599.629,98	119.784.863,50	116.611,96	Austrália	795.572.880,00	China
Consumo de eletricidade ¹¹	180	967,39	1441,96	114,7	Argentina	7.154,60	China
Acesso a eletricidade ¹²	180	98,03	5,1664	67,6	Índia	100,00	Alemanha, Austrália, Canadá, Coreia do Sul, Estados Unidos, França, Itália, Japão, Reino Unido e Turquia
Acesso a combustíveis limpos e tecnologias para cozinhar ¹³	180	90,43	15,7924	35,4	Índia	100,00	Alemanha, Austrália, Canadá, Coreia do Sul, Estados Unidos, França, Itália, Japão, Reino Unido
Emissões totais de GEE ¹⁴	180	1.371,38	2.210,99	164,2	Argentina	10.041,90	China
Consumo de energia renovável (% em relação ao consumo total de energia) ¹⁵	180	14,67	10,81	1,32	Coreia do Sul	47,57	Brasil

Fonte: Elaboração própria

⁸ Energia renovável é definida como a contribuição de fontes renováveis para o fornecimento total de energia primária. Inclui o equivalente de energia primária de fontes hidrelétricas, geotérmicas, solares, eólicas, das marés e das ondas, biocombustíveis sólidos, biogás, biodiesel, outros biocombustíveis líquidos, biogases e a fração renovável de resíduos municipais também estão incluídos (OCDE, 2022).

⁹ A formação bruta de capital consiste em gastos com acréscimos aos ativos fixos da economia mais variações líquidas no nível de estoques. Os ativos fixos incluem melhorias no terreno (cercas, valas, drenos e assim por diante); compra de plantas, máquinas e equipamentos; e a construção de estradas, ferrovias e similares, incluindo escolas, escritórios, hospitais, residências particulares e prédios comerciais e industriais. Os estoques são estoques de bens mantidos pelas empresas para atender a flutuações temporárias ou inesperadas na produção ou vendas e "trabalho em andamento" (World Bank, 2022).

¹⁰ A força de trabalho compreende a pessoas com 15 anos ou mais que fornecem mão de obra para a produção de bens e serviços durante um período especificado. Inclui pessoas que estão atualmente empregadas e pessoas que estão desempregadas, mas à procura de trabalho, bem como pessoas que procuram o primeiro emprego (World Bank, 2022).

¹¹ Consumo interno, i. e., produção bruta + importações - exportações - perdas, expressas em Terawatt-hora (TWh) (IEA, 2022a).

¹² Acesso à eletricidade é a porcentagem da população com acesso à eletricidade. Os dados de eletrificação são coletados da indústria, pesquisas nacionais e fontes internacionais (World Bank, 2022).

¹³ Acesso a combustíveis e tecnologias limpas para cozinhar, rural é a proporção da população rural que usa principalmente combustíveis e tecnologias limpas para cozinhar. De acordo com as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS), o querosene é excluído dos combustíveis limpos para cozinhar (World Bank, 2022).

¹⁴ Emissões totais de GEE apresenta emissões totais de gases de efeito estufa da combustão de combustível, incluindo CO₂, CH₄ e N₂O (IEA, 2022b).

¹⁵ O consumo de energia renovável é a parcela de energia renovável no consumo total de energia final (World Bank, 2022).

O propósito do 7º ODS é que cada país possa aumentar a cooperação internacional para facilitar o acesso à pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energia renovável, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis menos poluentes, além de promover o investimento em infraestrutura energética sustentável (RUSYDIANA et al., 2021).

A energia renovável como fonte de energia primária, a formação bruta de capital, o acesso à eletricidade e acesso a combustíveis limpos e tecnologias para cozinhar e o consumo total de energia renovável são dados em percentual. O consumo de eletricidade é dado em Terawatt-hora, a força de trabalho é dada em número de trabalhadores e o total de emissões de GEE é dado em milhões de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente.

No período analisado (2010–2019), considerando os dezoito países do G20 citados, a energia renovável como fonte de energia primária cresceu em média 2,82%, registrando o maior decréscimo na Indonésia (3,19%) e a maior taxa de crescimento no Reino Unido (12,54%). A formação bruta de capital apresentou redução média de 0,72%, sendo o decréscimo mais acentuado no Brasil (4,11%) e o acréscimo mais significativo no Japão (1,46%). A força de trabalho cresceu em média 1,02%, sendo mais expressiva na Turquia (2,41%) e apresentando a maior queda na Rússia (0,25%).

O acesso a eletricidade apresentou aumento de 0,25%, sendo o crescimento mais acentuado na Índia (3,13%). O acesso a combustíveis limpos e tecnologias para cozinhar cresceu 0,99%, a queda mais acentuada foi observada na Rússia (1,11%) e a Indonésia apresentou a maior alta (7,28%). O consumo de eletricidade aumentou 1,48% em média, sendo o maior crescimento na China (6,38%) e o menor no Japão (1,36%). As emissões de GEE aumentaram 0,17%, com a redução mais acentuada no Reino Unido (3,88%) e o maior acréscimo na Índia (3,92%). E, por fim, o consumo total de energia renovável cresceu 2,11%, registrando a maior expansão no Reino Unido (12,32%) e o maior decréscimo na Indonésia (7,21%).

4.4.3 Variáveis selecionadas para o 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis)

As variáveis selecionadas para o 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis) corresponderam ao modelo de produção e consumo linear e variáveis ambientais relacionadas à Economia Circular. A Figura 10 ilustra o *framework* da seleção das variáveis para este ODS.

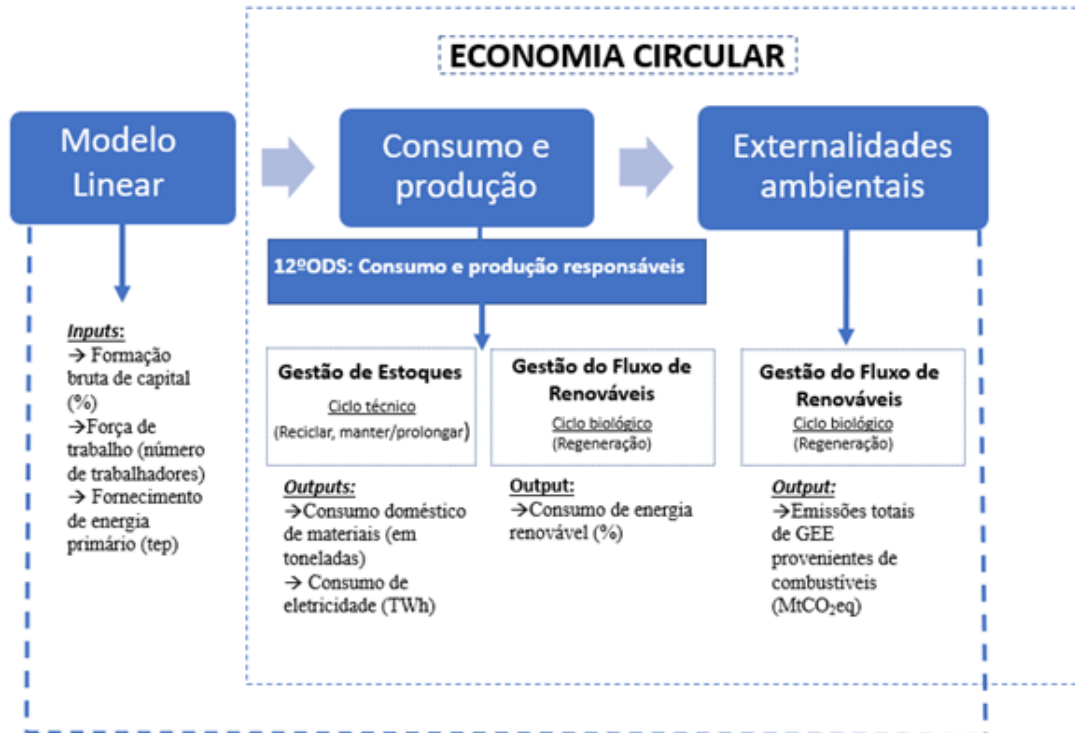


Figura 10. *Framework* da seleção de variáveis do 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis)

Fonte: Elaboração própria baseado em Ellen McArthur Foundation (2022)

Com base nos conceitos de Economia Circular apresentados na seção 3.3 e no Diagrama do Sistema de Economia Circular (ELLEN MCARTHUR FOUNDATION, 2022), para representar o modelo de produção e consumo linear foram selecionadas as seguintes variáveis como *inputs*: formação bruta de capital (%), força de trabalho (número de trabalhadores) e fornecimento de energia primário (tep).

Em seguida, para representar a dimensão de consumo e produção onde se situa o 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis), dentro da parte de Economia Circular correspondente à Gestão de Estoques foram selecionadas como *outputs* as variáveis de: consumo doméstico de materiais (em toneladas) e consumo de eletricidade (TWh). Em relação à Gestão do Fluxo de Renováveis selecionou-se o consumo de energia renovável (%). Como externalidades do 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis) considerou-se como *output* indesejável a variável emissões totais de GEE provenientes de combustíveis (MtCO₂eq).

Para a análise, foi elaborada uma base de dados para dezoito países do G20: Argentina, Austrália, Brasil, Canadá, China, França, Alemanha, Índia, Indonésia, Itália, Japão, Coreia, México, Rússia, África do Sul, Turquia, Reino Unido e Estados Unidos. Optou-se por excluir a Arábia Saudita, uma vez que o país quase não consome energia renovável.

O período da análise foi de 2017 e 2019, devido à disponibilidade de dados, dando-se

preferência em considerar os períodos mais atualizados com base de dados padronizada. A análise descritiva das variáveis é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Análise descritiva das variáveis para o 12º ODS (período de 2017 e 2019)

Variáveis	Obs.	Média	Desv. Pad.	Mín.	Países que atendem ao mínimo	Máx.	Países que atendem ao máximo
Formação bruta de capital (% em relação ao PIB)	38	24,45	7,09	14,63	Brasil	43,25	China
Força de trabalho	38	119.293.903,56	198.225.280,08	12.976.329,00	Austrália	800.020.955,00	China
Fornecimento de energia primária ¹⁶	38	564,00	819,26	79,00	Argentina	3.389,00	China
Consumo doméstico de materiais ¹⁷	38	11.532.363.807,77	22.114.519.226,18	1.257.595.167,33	Itália	98.097.369.424,22	China
Emissões totais GEE	38	1.400,28	2.326,48	164,30	Argentina	10.041,90	China
Consumo de eletricidade	38	1.055,38	1.671,77	129,40	Argentina	7.154,60	China
Consumo de energia renovável (% em relação ao consumo total de energia)	38	15,24	10,45	2,84	Coreia do Sul	47,57	Brasil

Fonte: Elaboração própria

¹⁶ O fornecimento de energia primária é definido como produção de energia mais importações de energia, menos exportações de energia, menos bunkers internacionais e, em seguida, variações de estoque. A metodologia de balanço energético da Agência Internacional de Energia (IEA) é baseada no conteúdo calorífico das commodities energéticas e em uma unidade comum de conta: tonelada equivalente de petróleo (tep) (IEA, 2022b).

¹⁷ Consumo doméstico de materiais (*Domestic material consumption* - DMC) refere-se à quantidade de materiais (em termos de peso) usados em uma economia, ou seja, materiais extraídos ou colhidos no país, mais materiais e produtos importados, menos materiais e produtos exportados. Os dados referem-se a metais, minerais não metálicos (minerais de construção, minerais industriais), biomassa (madeira, alimentos) e portadores de energia fóssil (UN Stats, 2022).

A formação bruta de capital e a energia renovável são dadas em percentual. A força de trabalho é dada em número de trabalhadores. O fornecimento de energia primário é dado em tonelada equivalente de petróleo (tep). O consumo interno de material é dado em toneladas. O consumo de eletricidade é dado em Terawatt-hora (TWh). E o total de emissões de GEE é dado em toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente.

Nesse período (2017 e 2019), considerando os dezoito países do G20 citados, a formação bruta de capital apresentou queda em média de 2,85%, registrando o maior decréscimo na Turquia (22,54%) e a maior taxa de crescimento no Brasil (5,74%). A força de trabalho aumentou em média 2,19%, contabilizando o maior aumento na Indonésia (5,19%) e a maior queda na Rússia (1,59%). O fornecimento de energia primário, por sua vez, apresentou acréscimo moderado de 0,58%, com o aumento mais acentuado na Indonésia (10,25%) e queda mais acentuada no Reino Unido de (4,71%).

O consumo interno de material cresceu em média 1,17%, sendo a redução mais acentuada na Argentina (9,60%) e o aumento mais expressivo na Turquia (24,35%). As emissões totais de GEE diminuíram 1,39%, apresentando a maior redução na Alemanha (11,23%) e o maior aumento na Indonésia (15,08%). O consumo de eletricidade registrou, em média, acréscimo de 2,34%, sendo o aumento mais acentuado na Indonésia (13,47%) e a queda mais acentuada na Alemanha (5,01%). O consumo de energia renovável aumentou em média 4,62%, sendo mais elevado no Reino Unido (20,75%) e a diminuição mais expressiva na Indonésia (36,98%).

4.4.4 Variáveis selecionadas para o 15° ODS (Vida Terrestre)

As variáveis selecionadas para o 15° ODS (Vida Terrestre) corresponderam ao modelo linear e variáveis ambientais relacionadas à Economia Circular a nível macro. A Figura 11 ilustra o *framework* da seleção das variáveis para este ODS.

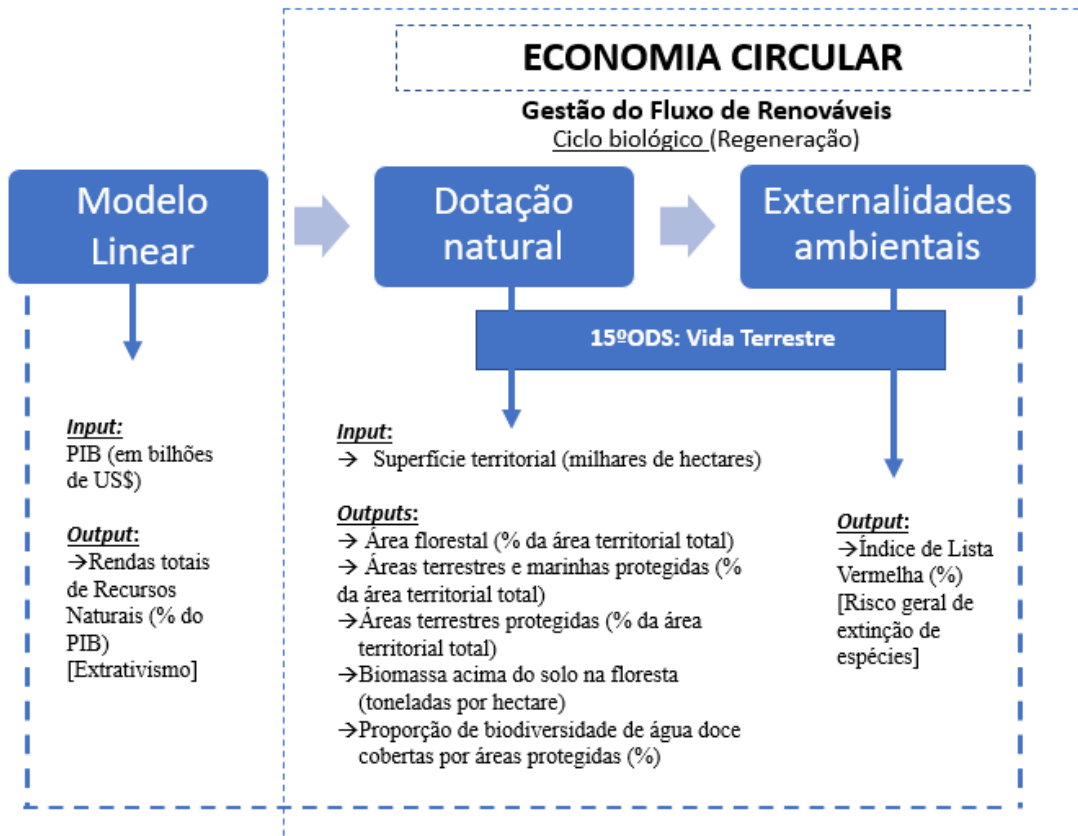


Figura 11. *Framework* da seleção de variáveis do 15º ODS (Vida Terrestre)

Fonte: Elaboração própria baseado em Ellen McArthur Foundation (2022)

Para representar o modelo linear foi utilizado como *input* o PIB e como *output* variável rendas totais de recursos naturais (% do PIB), que corresponde aos rendimentos decorrentes do extrativismo dos recursos naturais, especialmente dos combustíveis fósseis, minerais e florestas.

Em seguida, para representar a dimensão de dotação natural em que se encontra o 15º ODS (Vida Terrestre) e dentro da Economia Circular a parte de Gestão de Fluxo de Renováveis selecionou-se como *input* a superfície territorial. E foram selecionadas como *outputs* as seguintes variáveis: área florestal (% da área territorial total), áreas terrestres e marinhas protegidas (% da área territorial total), áreas terrestres protegidas (% da área territorial total), biomassa acima do solo na floresta (toneladas por hectare) e proporção de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas (%). Além disso, para representar a dimensão de externalidades ambientais foi selecionada como *output* a variável Índice de Lista Vermelha (%) [Risco geral de extinção de espécies].

Dessa forma, foi elaborada uma base de dados para os dezenove países do G20: Argentina, Arábia Saudita, Austrália, Brasil, Canadá, China, França, Alemanha, Índia, Indonésia, Itália, Japão, Coreia, México, Rússia, África do Sul, Turquia, Reino Unido e Estados

Unidos. O período da análise foi de 2016 a 2019, devido à disponibilidade de dados, dando-se preferência em considerar os períodos mais atualizados com base de dados padronizada. A análise descritiva das variáveis é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7. Análise descritiva das variáveis para o 15º ODS (período de 2016 a 2019)

Variáveis	Obs.	Média	Desv. Pad.	Mín.	G20	Máx.	G20
Produto Interno Bruto ¹⁸ (em bilhões de US\$)	76	3.316,85	2.850,59	349,01	África do Sul	19.925,44	Estados Unidos
Superfície territorial (em milhares de hectares)	76	397.500,60	450.733,10	9.748,90	Coreia do Sul	1.637.687,00	Rússia
Rendas totais dos recursos naturais (% do PIB) ¹⁹	76	3,26	5,90	0,02	Coreia do Sul	30,09	Arábia Saudita
Área florestal (% da área territorial total) ²⁰	76	32,94	18,40	0,45	Arábia Saudita	68,42	Japão
Áreas terrestres e marinhas protegidas (% da área territorial total) ²¹	76	14,94	11,44	0,19	Turquia	38,79	Alemanha
Áreas terrestres protegidas (% da área territorial total)	76	16,08	8,03	0,22	Turquia	37,75	Alemanha
Biomassa acima do solo na floresta (toneladas por hectare) ²²	76	105,17	46,508765	26,61	Arábia Saudita	185,45	Argentina
Proporção média de áreas chave de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas (%) ²³	76	40,61	25,46	4,17	Turquia	91,15	Reino Unido
Índice de Lista Vermelha (%) ²⁴	76	83,94	9,37	67,93	Índia	98,18	Alemanha

Fonte: Elaboração própria

¹⁸ O PIB a preços de compra é a soma do valor bruto adicionado por todos os produtores residentes na economia mais quaisquer impostos sobre produtos e menos quaisquer subsídios não incluídos no valor dos produtos. É calculado sem fazer deduções para depreciação de ativos fabricados ou para esgotamento e degradação de recursos naturais. Os dados estão em preços constantes de 2015, expressos em dólares americanos. Os valores em dólares para o PIB são convertidos de moedas domésticas usando as taxas de câmbio oficiais de 2015. Para alguns países onde a taxa de câmbio oficial não reflete a taxa efetivamente aplicada às transações cambiais reais, um fator de conversão alternativo é usado.

¹⁹ Rendas totais dos recursos naturais (% do PIB) correspondem a contabilização da contribuição dos recursos naturais para a produção econômica sendo importante na construção de uma estrutura analítica para o desenvolvimento sustentável. Em alguns países, os rendimentos dos recursos naturais, especialmente dos combustíveis fósseis e minerais, representam uma parcela considerável do PIB, e muitos desses rendimentos vêm na forma de rendas econômicas - receitas acima do custo de extração dos recursos. Os recursos naturais dão origem a rendas econômicas porque não são produzidos. Para bens e serviços produzidos, as forças competitivas expandem a oferta até que os lucros econômicos sejam levados a zero, mas os recursos naturais em oferta fixa geralmente geram retornos bem superiores aos seus custos de produção. Rendas de recursos não renováveis - combustíveis fósseis e minerais - bem como rendas de colheita excessiva de florestas, indicam a liquidação do estoque de capital de um país. Quando os países usam essas rendas para sustentar o consumo atual, em vez de investir em novo capital para repor o que está sendo usado, eles estão, na verdade, tomando empréstimos contra seu futuro (World Bank, 2022).

²⁰ Área florestal é a área sob povoamentos naturais ou plantados de pelo menos 5 metros *in situ*, produtivos ou não, e exclui povoamentos em sistemas de produção agrícola (por exemplo, em plantações de frutas e sistemas agroflorestais) e árvores em parques e jardins urbanos (World Bank, 2022).

²¹ Áreas terrestres protegidas são áreas total ou parcialmente protegidas de pelo menos 1.000 hectares que são designadas pelas autoridades nacionais como reservas científicas com acesso público limitado, parques nacionais, monumentos naturais, reservas naturais ou santuários de vida selvagem, paisagens protegidas e áreas manejadas principalmente para uso sustentável. Áreas marinhas protegidas são áreas de terreno intertidal ou subtidal - e água sobrejacente e flora e fauna associadas e características históricas e culturais - que foram reservadas por lei ou outros meios eficazes para proteger parte ou todo o ambiente fechado. Áreas protegidas por leis locais ou provinciais são excluídos (World Bank, 2022).

²² Toda a biomassa viva acima do solo, incluindo caule, toco, galhos, casca, sementes e folhagem (UN Stats, 2022).

²³ A proporção de locais importantes para a biodiversidade de água doce que são cobertos por áreas protegidas mostra tendências temporais na porcentagem média de cada local importante para a biodiversidade de água doce (ou seja, aqueles que contribuem significativamente para a persistência global da biodiversidade) que é coberto por áreas protegidas designadas (UN Stats, 2022).

²⁴ O Índice da Lista Vermelha (RLI) mostra tendências no risco geral de extinção de espécies e é usado pelos governos para rastrear seu progresso em direção às metas de redução da perda de biodiversidade (UN Stats, 2022).

As rendas totais de recursos naturais, a área florestal, as áreas terrestres e marinhas protegidas, a área terrestre, a proporção média de áreas chave de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas e o Índice de Lista Vermelha são dados em percentual. O PIB é dado em bilhões de dólares americanos a preços constantes de 2015. A superfície territorial é dada em milhares de hectares. A biomassa acima do solo na floresta é dada em toneladas por hectares.

O PIB apresentou crescimento nos países do G20 em média de 3,58%, contabilizando a maior expansão na China (6,15%) e o maior decréscimo na Argentina (0,67%). A superfície territorial não apresenta variação. As rendas totais de recursos naturais cresceram em média 9,16%, registrando o crescimento mais acentuado no Japão (27,78%) e queda mais expressiva na Turquia (15,47%).

A área florestal em relação ao território total apresentou crescimento médio moderado de 0,03%, sendo o maior na China (0,87%) e a retração mais acentuada na Indonésia (0,90%). Em relação às áreas terrestres e marinhas protegidas em relação a área territorial total verificou-se crescimento de 5%, sendo mais elevado no Japão (26,39%) e a diminuição mais significativa na África do Sul (4,49%). Acompanhando a tendência da variável anterior, as áreas terrestres apresentaram uma leve média de crescimento de 0,23%, sendo o crescimento mais significativo em no Japão (11,37%) e a queda mais expressiva na África do Sul (24,21%).

Sobre a biomassa acima do solo na floresta registrou-se em média um crescimento moderado de 0,43%, sendo mais expressivo na Coreia do Sul (2,55%). Referente à proporção média de áreas chave de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas, observou-se um crescimento ameno de 1,03%, sendo mais elevado na França (7,32%). E o Índice de Lista Vermelha apresentou retração média de 0,23%, sendo mais acentuado na Índia com 0,53%.

4.5 Estratégia empírica

Conforme apresentado para mensurar a eficiência e produtividade dos países do G20 em relacionar práticas da Economia Circular que contribuem para a implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS), desenvolveu-se a sequência de etapas aplicadas para a estratégia empírica apresentada na Figura 12.

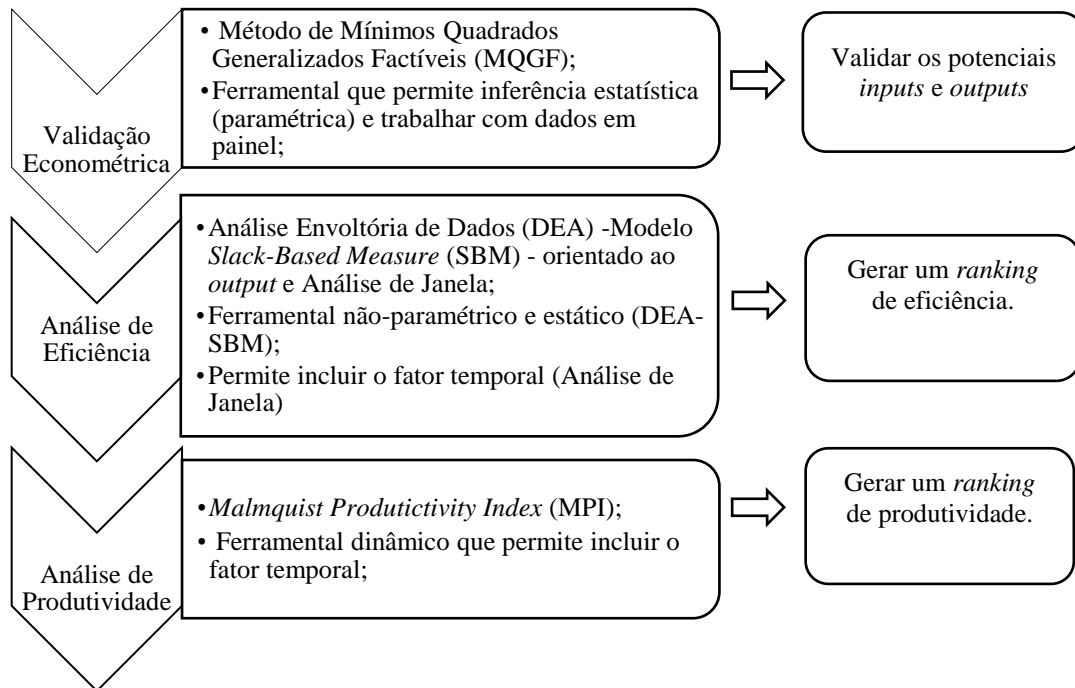


Figura 12. Sequência de etapas aplicadas para a estratégia empírica
 Fonte: Elaboração própria.

As etapas a serem aplicadas na estratégia empírica são: *i*) validação econométrica para confirmar a relação dos potenciais *outputs* com os potenciais *inputs* dos modelos de eficiência e produtividade; *ii*) determinação da eficiência pelo modelo DEA-SBM *Slacks-Based Measure* e elaboração dos *rankings* de eficiência; *iii*) determinação da produtividade pelo *Malmquist Productivity Index* (MPI) e *iv*) elaboração dos *rankings* de produtividade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o presente trabalho, alguns modelos de eficiência e produtividade foram elaborados com a finalidade de relacionar a Economia Circular com a implementação dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio. De acordo com Schroeder et al. (2019), os ODS diretamente impactados pelas práticas da EC são: 6º (Água Potável e Saneamento), 7º (Energia Limpa e Acessível), 8º (Trabalho Decente e Crescimento Econômico), 12º (Consumo e Produção Responsáveis) e 15º (Vida Terrestre). Sendo assim, este trabalho desenvolveu modelos de eficiência e produtividade para os ODS citados, exceto para o 8º ODS. Além de não serem encontrados trabalhos (reportados no Capítulo 2) sobre este ODS para fundamentação teórica, não foi possível realizar um modelo conectando o 8º ODS com variáveis de Economia Circular.

Os modelos desenvolvidos nesta pesquisa têm por finalidade analisar a Economia Circular em seu nível macro/nacional para verificar quais países do G20 estariam avançando para a realização dos ODS e desenvolvimento sustentável. De acordo com Ghisellini et al. (2016), a nível macro ainda existem lacunas para a avaliação da EC, portanto, faz-se necessário o desenvolvimento de indicadores para além de avaliar, monitorar e selecionar as melhores medidas e políticas ambientais adotadas por países. Conforme apresentado no Capítulo 2, a DEA e o MPI são ferramentas amplamente aceitas para avaliação e monitoramento de políticas públicas. Para todos os modelos de eficiência apresentados foi aplicado o DEA-SBM orientado ao *output* com retornos variáveis de escala. Para esse trabalho, os *rankings* de eficiência e produtividade gerados podem sinalizar o *benchmark* de melhores práticas de EC em contribuir para a realização dos ODS analisados.

5.1 Eficiência e produtividade para o 6º ODS: Água Potável e Saneamento

Para elaborar os modelos de eficiência e produtividade do 6º ODS (Água Potável e Saneamento) foi realizada a validação econométrica para 18 países do G20 no período de 2010 a 2019, em virtude da disponibilidade dos dados. Exclui-se a Argentina, pois não havia dados disponíveis a partir de 2016 para a variável de acesso a água potável. As equações econométricas aplicadas para verificar a relação entre os *outputs* e *inputs* correspondentes à EC e ao 6º ODS (Água Potável e Saneamento) foram:

$$y_{it}^{TA} = \beta_0 + \beta_1 AP_{it} + \beta_2 SB_{it} + \beta_3 Ln_RR_{it} + \varepsilon_{it} \quad (18)$$

$$y_{it}^{EH} = \beta_0 + \beta_1 AP_{it} + \beta_2 SB_{it} + \beta_3 Ln_RR_{it} + \varepsilon_{it} \quad (19)$$

Onde: β_n ($n = 0, \dots, 3$) são os coeficientes estimados, y^{TA} é o percentual de tratamento de águas residuais, y^{EH} é o nível de estresse hídrico, AP é o percentual da população que usa pelo menos serviços básicos de água potável, SB é o percentual da população que usa pelo menos serviços básicos de saneamento básico, e Ln_RR são os recursos internos renováveis de água doce *per capita*, e ε é o erro aleatório. O período de análise foi de 2010 a 2019. Os resultados da análise de regressão seguem sintetizados na Tabela 8.

Tabela 8. Estimativas econométricas dos *outputs* em relação aos *inputs* para o 6º ODS (Água Potável e Saneamento)

Inputs (variáveis independentes)		Outputs (Variáveis dependentes)	
		Tratamento de água (%)	Estresse hídrico (%)
Percentual que usa pelo menos serviços básicos de água potável (%)	Coef.	2,181***	1,053***
	p-valor	0,0000	0,0030
	Std. Errors	(0,456)	(0,354)
Percentual que utiliza pelo menos serviços de saneamento básico (%)	Coef.	-0,175	-0,220***
	p-valor	0,2060	0,0020
	Std. Errors	(0,139)	(0,0722)
Recursos internos renováveis de água doce <i>per capita</i> (em ln)	Coef.	3,919***	-21,36***
	p-valor	0,0000	0,0000
	Std. Errors	(0,326)	(3,749)
Constante	Coef.	-175,8***	143,1***
	p-valor	0,0000	0,0000
	Std. Errors	(35,38)	(39,75)
Observações		180	180
Número de DMUs		18	18

Níveis de significância estatística: ***: $p < 0,01$; **: $p < 0,05$; * $p < 0,1$

Fonte: Elaboração própria

Os potenciais *outputs* avaliados, considerados como variáveis dependentes nos modelos econométricos foram: o tratamento de águas residuais e o nível de estresse hídrico. Os potenciais *inputs*, sendo as variáveis independentes foram: o percentual da população com acesso a água potável, o percentual da população que utiliza serviços de saneamento básico e os recursos internos renováveis de água doce *per capita*.

O percentual da população que usa pelo menos serviços básicos de água potável foi estatisticamente significativo e positivo ao nível de 1%, tanto para explicar o tratamento de águas residuais, como para o estresse hídrico.

O percentual que utiliza pelo menos serviços de saneamento básico não apresentou significância estatística para explicar o tratamento de águas residuais e demonstrou ser significante negativamente ao nível de 1% com o estresse hídrico. Por esta razão, esta variável foi retirada como *input* dos modelos de eficiência e produtividade.

E, por fim, os recursos internos renováveis de água doce *per capita* mostraram

significância positiva ao nível de 1% com o tratamento de águas residuais e significância negativa ao nível de 1% com o estresse hídrico. Após a validação econométrica, foram selecionadas as variáveis para o modelo de eficiência e produtividade, apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4. Modelo de eficiência e produtividade sob a perspectiva da Economia Circular para o 6º ODS: Água Potável e Saneamento

Modelo de eficiência e produtividade sob a perspectiva da Economia Circular para o 6º ODS: (Água Potável e Saneamento)	
<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>
a) Percentual da população que usa pelo menos serviços básicos de água potável (%)	1) Tratamento de água poluída (%)
b) Recursos internos renováveis de água doce <i>per capita</i> (metros cúbicos)	2) Nível de estresse hídrico: retirada de água doce como proporção dos recursos de água doce disponíveis (%)

Fonte: Elaboração própria

Para verificar a eficiência de ações que atendem à Economia Circular pelo G20 em relação ao 6º ODS (Água Potável e Saneamento), utilizou-se como *inputs* o percentual da população que usa pelo menos serviços básicos de água potável e os recursos internos renováveis de água doce. E como *outputs* foram utilizadas as variáveis de tratamento de águas residuais e o nível de estresse hídrico. No contexto apresentado, a variável nível de estresse hídrico é considerada um *output* indesejável, para lidar com essa questão utilizou-se o procedimento de multiplicativo inverso, conforme exposto na seção 4.1.

A eficiência média dos países do G20 variou de 0,7440, no período da Janela 1 (2010-2014), para 0,6727, no período da Janela 6 (2015-2019), acumulando um decréscimo de 10,60% no intervalo de 2010 a 2019. Os países desenvolvidos que se mostraram eficientes em todo o período (2010-2019) foram: Alemanha, Austrália e Reino Unido. A eficiência nesse bloco de países variou no período analisado de 0,7248 (Janela1) para 0,6996 (Janela 6), registrando um decréscimo de 3,60% no período de 2010 a 2019. Os Estados Unidos foi o país mais ineficiente deste grupo de países, devido à diminuição dos recursos internos renováveis de água doce *per capita* e aumento do estresse.

Os países emergentes que atingiram a eficiência foram: África do Sul, Arábia Saudita, Brasil e Índia. A eficiência destes países sofreu variação de 0,7632, no período da Janela 1 (2010-2014), para 0,6458, no período da Janela 6 (2015-2019), apresentando decréscimo de 18,18% no intervalo de 2010 a 2019. Desse bloco, os países mais ineficientes foram Turquia, China, México e Indonésia. Este resultado indica que no período analisado, os países

desenvolvidos se mostraram mais eficientes que os países emergentes para a realização do 6º ODS (Água Potável e Saneamento) em relação à EC.

Os resultados empíricos dos escores de eficiência são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Escores de eficiência referente ao 6º ODS (Água Potável e Saneamento)

Países	Escores de Eficiência					
	Janela 1	Janela 2	Janela 3	Janela 4	Janela 5	Janela 6
Alemanha	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Austrália	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Canadá	1,0000	0,9798	0,9700	0,9668	0,9076	0,8544
Coreia do Sul	0,5251	0,5168	0,5123	0,5084	0,5097	0,5125
Estados Unidos	0,3934	0,3818	0,3779	0,3744	0,3478	0,3268
França	0,6383	0,6357	0,6520	0,6579	0,6527	0,6537
Itália	0,4877	0,4844	0,4876	0,4890	0,4843	0,4828
Japão	0,4790	0,4755	0,4796	0,4817	0,4715	0,4662
Reino Unido	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Média países desenvolvidos	0,7248	0,7193	0,7199	0,7198	0,7082	0,6996
Arábia Saudita	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Rússia	0,5270	0,5325	0,5342	0,5443	0,5236	0,5135
Turquia	0,4305	0,4224	0,4163	0,4112	0,3979	0,3881
Brasil	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
México	0,4351	0,4192	0,4075	0,3958	0,3677	0,3452
África do Sul	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
China	0,4764	0,4457	0,4217	0,4010	0,3799	0,3622
Indonésia	1,0000	1,0000	0,8012	0,6020	0,4025	0,2030
Índia	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Média países emergentes	0,7632	0,7578	0,7312	0,7060	0,6746	0,6458
Média Geral	0,7440	0,7386	0,7256	0,7129	0,6914	0,6727

Fonte: Elaboração própria

Em relação aos *inputs*, a variável de acesso a água potável cresceu em média 0,17%. Os países que mais aumentaram o acesso a água potável nesse período foram: Indonésia (0,91%), China (0,65%) e Índia (0,55%). Esta variável tem espaço para crescer mais nos países emergentes que ainda não tornaram a água potável acessível a toda ou a grande parte da população.

Os recursos internos renováveis de água doce *per capita* reduziram-se em 1,55%, em média, para os países do G20 entre 2010 e 2019. Os países que mais diminuíram seus recursos internos renováveis de água doce *per capita* foram: Arábia Saudita (2,22%), Austrália (1,57%) e Turquia (1,55%) – sendo a Turquia um dos países mais ineficientes do *ranking*. De acordo com Rayne e Forest (2013), os suprimentos de recursos internos renováveis de água doce *per*

capita estão diminuindo a taxas alarmantes em todo o planeta, sendo necessário empreender mais esforços para gerenciar melhor o crescimento populacional e o uso e distribuição de água doce. Sendo assim, a gestão pública deve se atentar às tendências de recursos de água doce internos renováveis a fim de obter uma melhor compreensão de suas taxas de esgotamento de recursos e buscar soluções (RAYNE e FOREST, 2013).

No que diz respeito aos *outputs*, as DMUs que mais aumentaram seu estresse hídrico (*output* indesejável) foram: México (4,44%), África do Sul (3,36%), Turquia (3,18%) e Indonésia (2,50%). Quanto ao tratamento de águas residuais, a Indonésia é o país que menos oferece tratamento de água poluída com percentual de 0,02% do total, o que impactou seu desempenho no modelo elaborado sendo considerado o país que mais queda apresentou de eficiência. Os países que mais tratam suas águas residuais são Reino Unido (98,5%), Alemanha (97%), Austrália (92,7%), França (88%) e Japão (75,32%).

Uma das metas do 6º ODS (Água Potável e Saneamento) se refere à redução da escassez de água (VANHAM et al., 2018). De acordo Hirji e Davis (2009), para a análise da escassez de água deve-se considerar o fluxo ambiental, que é a qualidade, quantidade e tempo dos fluxos de água necessários para manter os componentes, funções, processos e resiliência dos ecossistemas aquáticos que fornecem bens e serviços às pessoas.

Von Braun et al. (2017) argumenta que a qualidade e o uso excessivo da água (sem reaproveitamento da fonte primária – tratamento diferenciado, mas também sanitário) são problemas crescentes em todo o mundo. Além disso, o declínio dos lençóis freáticos, a mudança dos fluxos de água e a poluição da água acima e abaixo do solo afetam comunidades em todo o mundo. Nesse contexto, o uso de águas residuais sem tratamento tem o potencial de aumentar a produção de alimentos, mas também traz riscos, como aumento da exposição a patógenos e problemas de saúde relacionados para a saúde de trabalhadores e consumidores de alimentos, ou aumento da exposição a doenças transmitidas pela água (VON BRAUN et al., 2017).

Sendo assim, medidas políticas para estimular o uso eficiente da água precisam ser tomadas, incluindo o estabelecimento de mercados de água adaptados, o que exigirá abordar a questão dos direitos de propriedade da água (MEKONNEN e HOEKSTRA, 2010). De acordo com Bronner et al. (2022), para estimular as práticas do ciclo da água segundo uma Economia Circular orientadas para a sustentabilidade é necessário levar em consideração a análise simultânea do abastecimento público de água, serviços de águas residuais e dotação natural de água do lugar.

De acordo com os resultados obtidos, os países eficientes no período de análise, tais como Alemanha, África do Sul, Arábia Saudita, Austrália, Brasil, Índia e Reino Unido, podem

servir de *benchmarkings* para as demais alcançarem melhores desempenhos. A Alemanha, Austrália e Reino Unido atingiram a eficiência sobretudo em razão de seus elevados percentuais de tratamento de água poluída, acima de 90%. O Brasil é o país que apresenta a maior reserva de água doce do mundo, ou seja, o menor estresse hídrico – fato que contribuiu para a sua eficiência. Os casos da Arábia Saudita e Índia devem ser investigados com maior cuidado. A Arábia Saudita, apesar de apresentar o maior nível de estresse hídrico, apresentou *inputs* menores e conseguiu manter estável nas demais variáveis. Dessa forma, mostrou um grau de entrega similar às demais DMUs caracterizadas como eficientes. A Índia, por sua vez, além de apresentar *inputs* menores, não apresentou variação de estresse hídrico no período analisado, o que a fez atingir a fronteira de eficiência.

Em relação a produtividade, o MPI mostra que a variação média de produtividade do G20, ao longo de 2010-2019 foi de 0,8883. Como esse resultado é inferior a 1, significa que no período houve perda de produtividade.

Nos países desenvolvidos, o MPI médio foi de 0,9902 e nos países emergentes foi de 0,7864, ou seja, a queda da produtividade foi mais intensa neste bloco de DMUs. No grupo dos países desenvolvidos, as DMUs com MPI=1, foram Alemanha, Canadá e França. Essas DMUs mantiveram-se estáveis. Os países emergentes que apresentaram os maiores escores do MPI foram Arábia Saudita (0,9979), Brasil (0,9959), África do Sul (0,9929) e Índia (0,9917), todos apresentando resultados MPI<1, indicando que nesses países a perda da produtividade foi menor.

No grupo de países desenvolvidos, o MPI foi mais afetado por mudanças tecnológicas (AT) - com média de 0,9919 do que por mudanças de eficiência (AE), que apresentou média de 0,9983. Isso significa que as perdas da produtividade se deram mais devido a alterações técnicas do que de eficiência.

Os resultados empíricos para pontuações de produtividade são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Escores de Produtividade referente ao 6º ODS (Água Potável e Saneamento)

Países	Escores de Produtividade		
	AE	AT	MPI
Alemanha	1,0000	1,0000	1,0000
Austrália	1,0000	0,9999	0,9999
Canadá	1,0000	1,0000	1,0000
Coreia do Sul	0,9837	0,9828	0,9667
Estados Unidos	0,9946	0,9797	0,9744
França	1,0000	1,0000	1,0000
Itália	0,9995	0,9942	0,9937
Japão	1,0071	0,9705	0,9774
Reino Unido	1,0000	1,0000	1,0000
Média países desenvolvidos	0,9983	0,9919	0,9902
África do Sul	1,0000	0,9929	0,9929
Arábia Saudita	1,0000	0,9979	0,9979
Brasil	1,0000	0,9959	0,9959
China	0,6257	0,6231	0,3899
Índia	1,0000	0,9917	0,9917
Indonésia	0,0023	0,7029	0,0016
México	0,9497	0,9252	0,8787
Rússia	2,0244	0,4745	0,9605
Turquia	0,9993	0,8689	0,8683
Média países emergentes	0,9557	0,8414	0,7864
Média Geral	0,9770	0,9167	0,8883

Fonte: Elaboração própria

Os países desenvolvidos que mantiveram a $AT=1$ foram: Austrália, Canadá, França e Reino Unido. A mesma tendência é observada nos países emergentes, em que a média da AT foi 0,8414 e da AE foi de 0,9557, sendo a variação mais ampla. Por outro lado, nenhum país desse grupo atingiu $AT \geq 1$, o que significa que não houve ganhos tecnológicos.

Em relação ao AE, o único país desenvolvido que apresentou pequeno aumento foi o Japão (1,0071), enquanto no grupo dos países desenvolvidos com ganhos de AE mais significativos tem-se a Rússia (2,0244). Os países que apenas mantiveram os valores de $AE=1$ foram: Alemanha, Austrália, Canadá, França, Reino Unido, África do Sul, Arábia Saudita, Brasil e Índia.

No contexto geral, com média de AT (0,9167) inferior a AE (0,9770) significa que o desempenho da produtividade foi um pouco mais afetado pelas AT, ou seja, mensuram quais DMUs na prática que menos se beneficiaram das mudanças tecnológicas ocorridas entre 2010 e 2019, e que afetaram todas as DMUs.

Os resultados com escores menores que 1 indicam que a produtividade recuou no período de 2010 a 2019, o que vai de encontro com os resultados dos escores de eficiência que apresentaram tendência de queda no período. Nesse caso, os resultados tanto no DEA como do MPI parecem sugerir estudos mais aprofundados dos *outliers* positivos e negativos para

compreender melhor as causas da redução de desempenho em relação às temáticas do 6º ODS (Água Potável e Saneamento).

5.2 Eficiência e produtividade para o 7º ODS: Energia Limpa e Acessível

Para elaborar os modelos de eficiência e produtividade do 7º ODS (Energia Limpa e Acessível) foi realizada a validação econométrica para 18 países do G20 no período de 2010 a 2019, em virtude da disponibilidade dos dados. Exclui-se a Arábia Saudita, pois o país não consome energia renovável. As equações econométricas aplicadas para verificar a relação entre as variáveis citadas foram:

$$Ln_y^{GEE}_{it} = \beta_0 + \beta_1 FC_{it} + \beta_2 Ln_FT_{it} + \beta_3 Ln_ER_{it} + \varepsilon_{it} \quad (20)$$

$$y^{EL}_{it} = \beta_0 + \beta_1 FC_{it} + \beta_2 Ln_FT_{it} + \beta_3 Ln_ER_{it} + \varepsilon_{it} \quad (21)$$

$$y^{TL}_{it} = \beta_0 + \beta_1 FC_{it} + \beta_2 Ln_FT_{it} + \beta_3 Ln_ER_{it} + \varepsilon_{it} \quad (22)$$

$$Ln_y^{CEL}_{it} = \beta_0 + \beta_1 FC_{it} + \beta_2 Ln_FT_{it} + \beta_3 Ln_ER_{it} + \varepsilon_{it} \quad (23)$$

$$y^{CER}_{it} = \beta_0 + \beta_1 FC_{it} + \beta_2 Ln_FT_{it} + \beta_3 Ln_ER_{it} + \varepsilon_{it} \quad (24)$$

Onde: β_n ($n = 0, \dots, 3$) são os coeficientes a serem estimados, Ln_y^{GEE} são as emissões totais de GEE provenientes de combustíveis fósseis, y^{EL} é o percentual da população que tem acesso a eletricidade, y^{TL} é o percentual da população com acesso a combustíveis e tecnologias limpas para cozinhar, Ln_y^{CEL} consumo de eletricidade, y^{CER} é o percentual de consumo de energia renovável, FC é o percentual de formação bruta do capital em relação ao PIB; Ln_FT é a força de trabalho total (número de trabalhadores); Ln_EP é a energia renovável como fonte primária de energia e ε é o erro aleatório.

Os potenciais *outputs* avaliados, consideradas como variáveis dependentes nos modelos econométricos, foram: emissões totais de GEE provenientes de combustíveis fósseis, população que tem acesso a eletricidade, população com acesso a combustíveis e tecnologias limpas para cozinhar, consumo de eletricidade e consumo de energia renovável. Os potenciais *inputs*, sendo as variáveis independentes, foram: formação bruta de capital, força de trabalho e energia renovável como fonte primária de energia.

Os resultados da análise de regressão seguem sintetizados na Tabela 11.

Tabela 11. Estimativas econométricas dos *outputs* em relação aos *inputs* para o 7º ODS (Energia Limpa e Acessível)

<i>Input</i> (Variável independente)		<i>Outputs</i> (Variáveis dependentes)				
		Emissões totais de GEE provenientes combustíveis (em ln)	População que tem acesso a eletricidade (%)	População com acesso a combustíveis e tecnologias limpas para cozinhar (%)	Consumo de eletricidade (em ln)	Consumo de energia renovável (%)
Formação bruta de capital (%)	<i>Coef.</i>	-0,00198	-0,00380	-0,0379	-0,00182	0,0126
	<i>p-value</i>	0,3960	0,8220	0,4000	0,2880	0,4740
	<i>Std. Errors</i>	(0,00233)	(0,0169)	(0,0450)	(0,00172)	(0,0176)
Força de trabalho (em ln)	<i>Coef.</i>	0,836***	0,00715	-2,808***	0,726***	0,187
	<i>p-value</i>	0,0000	0,9670	0,0030	0,0000	0,4850
	<i>Std. Errors</i>	(0,0314)	(0,170)	(0,930)	(0,0595)	(0,268)
Energia renovável - fonte primária	<i>Coef.</i>	-0,0361***	-0,0162	-0,0155	-0,0166***	1,056***
	<i>p-value</i>	0,0000	0,4050	0,8070	0,0000	0,0000
	<i>Std. Errors</i>	(0,00188)	(0,0195)	(0,0633)	(0,00204)	(0,0247)
Constante	<i>Coef.</i>	-7,805***	100,0***	147,5***	-6,295***	-2,200
	<i>p-value</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,6410
	<i>Std. Errors</i>	(0,529)	(3,062)	(15,86)	(1,026)	(4,723)
Observações		180	180	180	180	180
Número de DMUs		18	18	18	18	18

Níveis de significância estatística: ***: $p < 0,01$; **: $p < 0,05$; * $p < 0,1$

Fonte: Elaboração própria

A formação bruta de capital não apresentou significância estatística com nenhum potencial *output*. Por esse motivo, foi retirada dos modelos de eficiência e produtividade.

A força de trabalho apresentou significância estatística positiva ao nível de 1% com os seguintes potenciais *output*: emissões totais de GEE provenientes de combustíveis e consumo de eletricidade. Além disso, este potencial *input* demonstrou significância negativa ao nível de 1% com o potencial *output* de população com acesso a combustíveis e tecnologias limpas para cozinhar. Por outro lado, a força de trabalho não foi significativa com os potenciais *outputs*: população que tem acesso a eletricidade e consumo de energia renovável. Em virtude disso, por não apresentar significância como consumo de energia renovável, a mesma foi retirada dos modelos de eficiência e produtividade.

A energia renovável como fonte primária demonstrou ser significativa positivamente ao nível de 1% com as emissões totais de GEE provenientes de combustíveis e o consumo de eletricidade. Ademais, apresentou significância positiva ao nível de 1% com o consumo de energia renovável. Após a validação econométrica, foram selecionadas as variáveis para o modelo de eficiência e produtividade, apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5. Modelo de eficiência e produtividade sob a perspectiva da Economia Circular para o 7º ODS: Energia Limpa e Acessível

Modelo de eficiência e produtividade sob a perspectiva da Economia Circular para o 7º ODS: Energia Limpa e Acessível	
<i>Input</i>	<i>Outputs</i>
a) Energia renovável como fonte de energia primária	1) Emissões totais de GEE provenientes de combustíveis fósseis 2) Consumo de eletricidade 3) Consumo de energia renovável

Fonte: Elaboração própria

Para verificar a eficiência do G20 em direção ao 7º ODS (Energia Limpa e Acessível) sob a perspectiva da Economia Circular, utilizou-se como *input* a energia renovável como fonte primária de energia, e como *outputs* as emissões totais de GEE provenientes de combustíveis fósseis, o consumo de eletricidade e o consumo de energia renovável. No contexto apresentado, as variáveis de consumo de eletricidade e das emissões totais de GEE são *outputs* indesejáveis, para lidar com essa questão utilizou-se o procedimento multiplicativo inverso, conforme exposto na seção 4.1.

A eficiência média dos países do G20 variou de 0,6471 no período da Janela 1 (2010-2014), para 0,6408, no período da Janela 6 (2015-2019), acumulando uma leve queda de 0,98%. O único país desenvolvido que atingiu a eficiência foi a Coreia do Sul. Os demais países eficientes são todos do grupo de países emergentes sendo a África do Sul, Argentina, Brasil e Índia. A França passou de 0,7684 no período da Janela 1, para a eficiência a partir da Janela 4 e a mantendo ao fim do período analisado, ou seja, no período analisado sua eficiência aumentou 23,16%. A Indonésia passou pelo caminho inverso, estava na fronteira de eficiência e passou a ser ineficiente a partir da Janela 3 (2012-2016) com 0,9577 e diminuindo ainda mais até chegar a 0,7200 ao final do período analisado, registrando queda de 38,88%.

Este resultado sinaliza que no período analisado os países emergentes se foram mais eficientes que os países desenvolvidos para a realização do 7º ODS (Energia Limpa e Acessível) em relação a EC.

Os países que fecharam a eficiência com nível inferior a 50% na Janela 6 (2015-2019) foram: Alemanha (35,44%), Estados Unidos (5,54%), Japão (27,12%), e China (4,93%) e Rússia (41,37%). Devido ao uso de combustíveis fósseis e elevadas taxas de emissões de GEE.

Os resultados empíricos dos escores de eficiência são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Escores de eficiência referente ao 7º ODS (Energia Limpa e Acessível)

Países	Escores de Eficiência					
	Janela 1	Janela 2	Janela 3	Janela 4	Janela 5	Janela 6
Alemanha	0,3252	0,3374	0,3427	0,3458	0,3498	0,3544
Austrália	0,8921	0,8969	0,8708	0,8371	0,7863	0,7652
Canadá	0,5014	0,5182	0,5331	0,5525	0,5633	0,5733
Coreia do Sul	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Estados Unidos	0,0562	0,0573	0,0566	0,0563	0,0545	0,0554
França	0,7684	0,8543	0,9343	1,0000	1,0000	1,0000
Itália	0,5824	0,6138	0,6392	0,6511	0,6511	0,6424
Japão	0,2708	0,2716	0,2730	0,2743	0,2744	0,2712
Reino Unido	0,5732	0,5555	0,5402	0,5310	0,5292	0,5368
Média países desenvolvidos	0,5522	0,5672	0,5767	0,5831	0,5787	0,5776
África do Sul	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Argentina	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Brasil	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
China	0,0533	0,0513	0,0493	0,0475	0,0469	0,0493
Índia	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Indonésia	1,0000	1,0000	0,9577	0,9002	0,8164	0,7200
México	0,5286	0,5328	0,5361	0,5376	0,5316	0,5224
Rússia	0,3410	0,3580	0,3692	0,3862	0,4060	0,4137
Turquia	0,7552	0,7379	0,7214	0,6896	0,6509	0,6305
Média países emergentes	0,7420	0,7422	0,7371	0,7290	0,7169	0,7040
Média Geral	0,6471	0,6547	0,6569	0,6561	0,6478	0,6408

Fonte: Elaboração própria

Os países que mais aumentaram sua matriz energética renovável nesse período foram: Reino Unido (70,49%), Coreia do Sul (65%) – fato que contribuiu para esta DMU atingir a eficiência - Japão (41,27%), Alemanha (38%), Estados Unidos (27,85%), Turquia (30,82 %), Itália (30,39%) e Austrália (27,40%). Por outro lado, a Indonésia diminuiu sua fonte primária de energia renovável em 32,22%.

Os países emergentes aumentaram o consumo de eletricidade em um ritmo mais acentuado que os países desenvolvidos. A DMU que apresentou um aumento maior no consumo de eletricidade foi a China (44,96%), seguida de Indonésia (43,25%), Índia (42,79%), Turquia (33,75%) e México (24,49%). Por outro lado, aqueles que mais conseguiram reduzir o consumo de energia foram o Reino Unido (12,17%) e o Japão (12,77%).

As DMUs que mais aumentaram as emissões de GEE foram: Índia (30,53%), Indonésia (29,71%), Turquia (26,45%) e China (20,89%), ou seja, países emergentes. Em contrapartida, os que conseguiram reduzir as emissões de forma mais significativa foram todos países desenvolvidos: Reino Unido (39,95%), Itália (26,48%), Alemanha (17,46%), França (15,51%) e Estados Unidos (12,59%), compromisso firmado pelo “*The Paris Agreement*” (UNFCCC, 2015).

As DMUs consideradas eficientes Coreia do Sul, África do Sul, Argentina, Brasil e Índia podem servir de referência para as demais alcançarem melhores desempenhos. Exceto a Coreia do Sul, todas as demais DMUs são países emergentes. Pode-se concluir que os países com o abastecimento de energia primária majoritariamente proveniente de combustíveis fósseis foram considerados ineficientes.

A Argentina e a Coreia do Sul apresentaram uma tendência semelhantes de aumentarem tanto o fornecimento primário de energia de base renovável como o consumo total de energia renovável, fatores que levaram essas DMUs a atingirem a eficiência. A África do Sul, por sua vez, conseguiu diminuir o seu consumo de eletricidade, o que contribuiu para que o país atingisse a fronteira de eficiência. Apesar da Índia ter apresentado queda do fornecimento e consumo de energia renovável, ainda é um país que apresenta um significativo fornecimento de energia primária de base renovável (média de 23,32%) quanto o consumo de energia renovável (33,92%).

O Brasil têm feito esforços para produzir etanol como biocombustível, a partir da cana-de-açúcar, bem como a produção de biocombustíveis de segunda geração, o que diminui a pressão da área cultivada – o que vai ao encontro do 15º ODS (Vida Terrestre) e contribui para a mitigação das emissões de GEE (KHANNA et al., 2021). No presente *ranking* – período 2010-2019, o Brasil, que é o país que mais detém tanto o fornecimento de energia primária de base renovável (média de 42,09%) quanto o consumo de energia renovável (44,85%), o que o levou a ser eficiente (WORLD BANK, 2022a).

O MPI mostrou que a variação média de produtividade do G20, ao longo de 2010-2019, foi de 0,8608, o que indica que os países do G20 sofreram perda de produtividade.

Nos países desenvolvidos o MPI foi de 0,7183 e nos países emergentes foi de 1,0033, indicando nestes últimos, leve aumento da produtividade ($MPI > 1$). Esse resultado sinaliza que os países emergentes mostraram ter mais produtividade que os países desenvolvidos para a realização do 7º ODS (Energia Limpa e Acessível) sob a ótica da EC.

No grupo dos países desenvolvidos, a única DMUs com $MPI > 1$ foi o Canadá (1,0329) e a Itália que manteve com $MPI = 1$. Os países emergentes com o $MPI \geq 1$ foram África do Sul (1,0400), Índia (1,4400) e Indonésia (1,0360).

Os resultados empíricos para pontuações de produtividade são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Escores de produtividade referente ao 7º ODS (Energia Limpa e Acessível)

Países	Escores de produtividade		
	AE	AT	MPI
Alemanha	0,9773	0,9471	0,9256
Austrália	0,7513	0,8384	0,6299
Canadá	0,8612	1,1994	1,0329
Coreia do Sul	1,0000	0,4458	0,4458
Estados Unidos	0,8601	0,8058	0,6931
França	0,7295	0,9809	0,7155
Itália	1,0000	1,0000	1,0000
Japão	0,8147	0,7178	0,5848
Reino Unido	0,5156	0,8475	0,4370
Média países desenvolvidos	0,8344	0,8647	0,7183
África do Sul	1,0000	1,0400	1,0400
Argentina	1,0000	0,9086	0,9086
Brasil	1,0000	0,9961	0,9961
China	0,7622	0,9262	0,7060
Índia	1,0000	1,4400	1,4400
Indonésia	1,0000	1,0360	1,0360
México	1,0442	0,9517	0,9938
Rússia	3,1655	0,3159	1,0000
Turquia	0,9221	0,9862	0,9094
Média países emergentes	1,2104	0,9556	1,0033
Média Geral	1,0224	0,9102	0,8608

Fonte: Elaboração própria

Pode-se observar que no grupo de países desenvolvidos, a perda de produtividade (MPI) foi mais afetada pelas AE (0,8344) do que pelas AT (0,8647). Em relação as AE, as DMUs com maiores pontuações (mas que apenas atingiram a estabilidade) foram Coreia do Sul e Itália com AE=1. Referente ao AT, o Canadá (1,1994) foi o único país que mais se beneficiou das alterações tecnológicas do período. A Itália, por sua vez, apenas manteve a produtividade no período com AT=1.

Nos países emergentes, observa-se um aumento da produtividade devido as AE (1,2104) e perda em virtude das AT (0,9556). Os países com $AE \geq 1$ foram Rússia (3,1655) e México (1,0442). África do Sul, Argentina, Brasil e Índia, se mantiveram estáveis com AE=1. Sobre as pontuações de AT nos países emergentes, as pontuações mais elevadas foram na África do Sul (1,0400), Índia (1,4400) e Indonésia (1,0360), também as únicas DMUs deste grupo que apresentaram ganhos de produtividade devido as alterações tecnológicas.

No contexto geral, com média de AE (1,0224) superior a AT (0,9102) significa que os ganhos de produtividade estiveram relacionados apenas as AE, ou seja, aqueles países que mais melhoraram suas eficiências. Por outro lado, a média as $AT < 1$, significa que as DMUs não conseguiriam aumentar seus pesos ótimos de produção, na prática não se beneficiaram com as mudanças tecnológicas, ocorridas entre 2010 e 2019. Dessa forma, os países do G20 apresentaram perda de produtividade no setor de energia para avançar na realização do 7º ODS.

5.3 Consumo e Produção Responsáveis: 12º ODS

Para elaborar os modelos de eficiência e produtividade do 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis) foi realizada a validação econométrica para 18 países do G20 no período de 2017 e 2019, em virtude da disponibilidade dos dados. Exclui-se a Arábia Saudita, pois o país não consome energia renovável. As equações econométricas aplicadas para verificar a relação entre os *outputs* e *inputs* correspondentes à EC e ao 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis) foram:

$$Ln_y^{CM}_{it} = \beta_0 + \beta_1 FC_{it} + \beta_2 Ln_{FT}_{it} + \beta_3 Ln_{EP}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (25)$$

$$Ln_y^{EL}_{it} = \beta_0 + \beta_1 FC_{it} + \beta_2 Ln_{FT}_{it} + \beta_3 Ln_{EP}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (26)$$

$$Ln_y^{GEE}_{it} = \beta_0 + \beta_1 FC_{it} + \beta_2 Ln_{FT}_{it} + \beta_3 Ln_{EP}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (27)$$

$$y^{EN}_{it} = \beta_0 + \beta_1 FC_{it} + \beta_2 Ln_{FT}_{it} + \beta_3 Ln_{EP}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (28)$$

Onde: β_n ($n = 0, \dots, 3$) são os coeficientes estimados, Ln_y^{CM} é o consumo doméstico de materiais; Ln_y^{EL} é o consumo de eletricidade, Ln_y^{GEE} são as emissões totais de GEE provenientes de combustíveis fósseis; y^{EN} é o percentual de consumo de energia renovável em relação ao consumo total de energia; FC é o percentual de formação bruta do capital em relação ao PIB; Ln_{FT} é a força de trabalho total (número de trabalhadores); Ln_{EP} é o fornecimento de energia primário e ε é o erro aleatório.

Os potenciais *outputs*, considerados as variáveis dependentes nos modelos econométricos, avaliados foram: o consumo doméstico de materiais, as emissões totais de GEE, o consumo de eletricidade e o consumo de energia renovável. Os potenciais *inputs*, sendo as variáveis independentes, foram: formação bruta de capital, força de trabalho e fornecimento de energia primário.

A formação de capital apresentou significância estatística negativa ao nível de 1% com os seguintes potenciais *output*: consumo doméstico de materiais e com o consumo de energia renovável. Ademais, este potencial *input* demonstrou significância positiva ao nível de 1% com o potencial *output* de emissões de GEE.

A força de trabalho mostrou ser significativa positivamente ao nível de 1% com o consumo de materias, emissões de GEE e consumo de energia renovável. Por outro lado, a força

de trabalho não foi significativa com o potencial *output* de consumo de eletricidade. Em virtude disso, este potencial *output* foi retirado dos modelos de eficiência e produtividade.

Os resultados da análise de regressão seguem sintetizados na Tabela 14.

Tabela 14. Estimativas econométricas dos *outputs* em relação aos *inputs* para o 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis)

<i>Inputs</i> (variáveis independentes)		<i>Outputs</i> (Variáveis dependentes)			
		Consumo doméstico de materiais (em ln)	Emissões totais de GEE (em ln)	Consumo de eletricidade (em ln)	Consumo de energia renovável
Formação bruta de capital	<i>Coef.</i>	-0,0247***	0,00566***	-0,00261	-0,373***
	<i>p-value</i>	0,0000	0,0000	0,1870	0,0040
	<i>Std. Errors</i>	(0,00469)	(0,000747)	(0,00198)	(0,130)
Força de trabalho (em ln)	<i>Coef.</i>	4,01e-09***	1,76e-09***	0,0000	3,82e-08**
	<i>p-value</i>	0,0000	0,0000	0,9370	0,0430
	<i>Std. Errors</i>	(2,94e-10)	(2,24e-10)	(2,08e-10)	(1,89e-08)
Fornecimento de energia primário	<i>Coef.</i>	0,287***	1,389***	1,018***	-6,000**
	<i>p-value</i>	0,0070	0,0000	0,0000	0,0180
	<i>Std. Errors</i>	(0,106)	(0,0461)	(0,0140)	(2,542)
Constante	<i>Coef.</i>	21,00***	-1,039***	0,555***	48,55***
	<i>p-value</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0040
	<i>Std. Errors</i>	(0,622)	(0,282)	(0,0932)	(16,97)
Observações		36	36	36	36
Número de DMUs		18	18	18	18

Níveis de significância estatística: ***: $p < 0,01$; **: $p < 0,05$; * $p < 0,1$

Fonte: Elaboração própria

O fornecimento de energia primário apresentou ser significativa positivamente ao nível de 1% com o consumo doméstico de materiais, com as emissões de GEE e com o consumo de eletricidade. Além disso, o fornecimento de energia primário foi significativa negativamente ao nível de 1% com o consumo de energia renovável. Após a validação econométrica, foram selecionadas as variáveis para o modelo de eficiência e produtividade, apresentadas na Quadro 6.

Quadro 6. Modelo de eficiência e produtividade sob a perspectiva da Economia Circular para o 12º ODS: Consumo e Produção Responsáveis

Modelo de eficiência e produtividade sob a perspectiva da Economia Circular para o 12º ODS: (Consumo e Produção Responsáveis)	
<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>
a) Formação bruta de capital	1) Consumo doméstico de materiais
a) Força de trabalho	2) Emissões totais de gases de efeito estufa (GEE)
c) Fornecimento de energia primária	4) Consumo de energia renovável (% em relação ao consumo total de energia)

Fonte: Elaboração própria

Para verificar a eficiência do G20 em direção ao 12º ODS (Consumo e Produção

Responsáveis) sob a perspectiva da Economia Circular, foram utilizados como *inputs* a formação bruta do capital, a força de trabalho e o fornecimento de energia primária. E como *outputs* foram selecionadas as variáveis de consumo doméstico de materiais, emissões totais de GEE e consumo de energia renovável. No contexto apresentado, as variáveis de consumo doméstico de materiais e emissões de GEE são consideradas *outputs* indesejáveis. Para lidar com essa questão utilizou-se o procedimento de aditivo inverso para o consumo interno de material e o procedimento de multiplicativo inverso para as emissões de GEE, conforme exposto na seção 4.1.

O modelo DEA-SBM orientado ao *output* com retornos variáveis de escala apresentou que a eficiência média dos países do G20 variou de 0,6101, em 2017, para 0,5619, em 2019, acumulando decréscimo de 8,58%. Os países desenvolvidos eficientes no período de 2017 e 2019, foram: Austrália, Canadá e Itália. Aqueles do bloco considerados mais ineficientes foram Alemanha, Japão, Coreia do Sul e Estados Unidos. Os países emergentes, por sua vez, considerados eficientes foram Argentina e Brasil. A Indonésia e África do Sul estavam na fronteira de eficiência em 2017, mas caíram significativamente atingindo 0,4926 e 0,5494 respectivamente. Os países do bloco com os menores níveis de eficiência foram Rússia e China.

Os resultados empíricos dos escores de eficiência são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Escores de eficiência referente ao 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis)

Países	Escores de Eficiência			
	2017	Posição	2019	Posição
Austrália	1,0000	1 ^a	1,0000	1 ^a
Canadá	1,0000	1 ^a	1,0000	1 ^a
Itália	1,0000	1 ^a	1,0000	1 ^a
França	0,8355	2 ^a	0,8542	2 ^a
Reino Unido	0,6581	3 ^a	0,6931	3 ^a
Alemanha	0,4212	6 ^a	0,4613	8 ^a
Japão	0,2463	7 ^a	0,2509	10 ^a
Coreia do Sul	0,2394	8 ^a	0,2644	9 ^a
Estados Unidos	0,0702	11 ^a	0,0658	13 ^a
Média países desenvolvidos	0,6078	-	0,6211	-
Argentina	1,0000	1 ^a	1,0000	1 ^a
Brasil	1,0000	1 ^a	1,0000	1 ^a
Indonésia	1,0000	1 ^a	0,4926	7 ^a
África do Sul	1,0000	1 ^a	0,5494	5 ^a
Turquia	0,5966	4 ^a	0,6245	4 ^a
México	0,5112	5 ^a	0,4959	6 ^a
Índia	0,2258	9 ^a	0,2010	11 ^a
Rússia	0,1392	10 ^a	0,1266	12 ^a
China	0,0384	12 ^a	0,0343	14 ^a
Média países emergentes	0,6124	-	0,5027	-
Média Geral	0,6101	-	0,5619	-

Fonte: Elaboração própria

A média da eficiência nos países desenvolvidos subiu 2,13%, de 0,6078 em 2017, para 0,6211, em 2019. Por outro lado, a eficiência nos países emergentes apresentou uma queda expressiva de 21,81%, sendo 0,6124 em 2017, caindo para 0,5027, em 2019. Os países que mais perderam posições de 2017 para 2019, foram a Indonésia caindo da 1ª posição para a 7ª, a África do Sul da 1ª para a 5ª, Japão da 7ª para a 10ª, Alemanha da 6ª para 8ª e Estados Unidos da 11ª para a 13ª. Esse resultado indica que as economias dos países desenvolvidos são mais eficientes do que os países emergentes para o contexto do 12º ODS (Consumo e Produção Sustentáveis) em relação a EC.

Para se entender a dinâmica da eficiência no período de 2017 a 2019 em relação aos *outputs* observou-se que o consumo doméstico de materiais cresceu em média 1,17% nos países do G20. Nessa tendência de acréscimo notou-se que a maior expansão do consumo interno de material se deu na Turquia (24,35%), seguida por Índia (7,43%), Indonésia (6,22%), Austrália (6,46%), México (5,76%) e Rússia (2,37%). Portanto verificou-se que exceto a Austrália nenhum dos países listados encontraram-se como eficientes. Por outro lado, na tendência de decréscimo, a queda mais expressiva do consumo doméstico de materiais foi na Argentina (9,60%), seguida por Itália (8,66%), Alemanha (3,59%), África do Sul (3,36%) e França (3,08), verificou-se que Argentina e Itália – países que mais reduziram seu consumo interno de materiais – foram considerados eficientes.

Este resultado está de acordo com os achados de Cabernard et al. (2019) que analisaram a situação e tendências do uso de recursos naturais de 1995 a 2015 nos países do G20. Verificou-se que a população cresceu, o PIB dobrou – mesmo com a recessão de 2008 – o que desencadeou em aumento da extração e consumo doméstico de materiais.

Essa tendência de acréscimo de consumo doméstico de materiais provoca o aumento da poluição como de plásticos. Bakshi et al. (2020) argumentaram que os países membros do G20 deveriam fortalecer e expandir as medidas regulatórias e fiscais para obrigar e incentivar o uso de plásticos reciclados. Além disso, Fadeeva e Van Berkel (2021) ressaltaram que os membros do G20 são responsáveis por cerca de dois terços dos resíduos plásticos globais. E que apesar de adotarem medidas preventivas deve-se investigar a eficácia e eficiência de suas políticas em combinação com a Economia Circular e as perspectivas do ciclo de vida, dada a urgência da poluição plástica marinha.

Em relação as emissões de GEE, observou-se uma tendência de queda em que os países do G20 apresentaram em média decréscimo de 1,39%, em caminho com o compromisso firmado pelo “The Paris Agreement” (UNFCCC, 2015). Na tendência de redução das emissões, o país com a diminuição mais expressiva foi a Alemanha (11,23%), seguida de Argentina

(7,18%), Japão (7,22%), Reino Unido (5,87%), México (5,29%) e Brasil (5,14%). Sendo assim, observou-se que Argentina e Brasil, países que apresentaram significativa redução de emissões de GEE atingiram a eficiência. Em contraste, o aumento mais significativo de emissões de GEE se deu na Indonésia (15,08%) – país que mais perdeu posições no *ranking* de eficiência – seguido por Rússia (6,34%), China (5,98%) e Índia (4,02%). Dos países que mais aumentaram as emissões de GEE nenhum atingiu a eficiência, ressaltando que China e Rússia foram significativamente ineficientes.

No que diz respeito à energia renovável observou-se uma tendência de aumento (4,62%) nos países do G20 demonstrando seus esforços em expandir a matriz energética para mais limpa e renovável. O país que apresentou o maior acréscimo foi o Reino Unido com 20,75%, seguido por Turquia (19,26%), Coreia do Sul (15,48%), Alemanha (11,36%) e China (9,13%). A Indonésia foi a DMU que mais reduziu seu consumo de energia renovável (36,98%) e que mais perdeu posições no *ranking* de eficiência. Todos os outros países - exceto Canadá com queda de 1,63% e Rússia com 0,93% - apresentaram expansão da energia renovável.

Referente as emissões de GEE, He (2012) e Choi (2013) argumentam que a Europa, América do Norte e Japão mostraram o melhor desempenho para o caminho de uma economia de baixo carbono. Além disso, no contexto dos países do G20, Wang et al. (2019) destaca que os países emergentes - Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul - tiveram as pontuações de eficiência mais baixas em relação as emissões de carbono. Nyambuu e Semmler (2020) defendem a necessidade de transferir tecnologia verde mais eficiente para os países emergentes para reduzir a emissão de CO₂.

Nesse contexto, Paramati et al. (2017) afirmaram que o consumo de energia renovável reduz substancialmente as emissões de CO₂. Sendo assim, os formuladores de políticas devem promover as fontes de energia renováveis para atender à crescente demanda por energia, substituindo o uso de energia convencional, como carvão, gás e petróleo. Essa dinâmica ajudará, portanto, a reduzir as emissões de CO₂ e também garantir o desenvolvimento econômico sustentável nas nações do G20 (PARAMATI et al., 2017).

O *ranking* de eficiência apresentado pode indicar que as DMUs consideradas eficientes, neste caso Austrália, Canadá, Itália, Argentina e Brasil podem servir de referência para as demais alcançarem melhores desempenhos em identificar práticas de EC para a realização do 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis).

O MPI mostra que a variação média de produtividade do G20, ao longo de 2017-2019, foi de 1,0159. Nos países desenvolvidos o MPI foi de 1,0464 (ganhos de produtividade) e nos países emergentes foi de 0,9853 (perdas de produtividade).

Os resultados empíricos para pontuações de produtividade são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Escores de Produtividade referente ao 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis)

Países	Escores de Produtividade		
	AE	AT	MPI
Alemanha	1,0953	1,0281	1,1260
Reino Unido	1,0531	1,0637	1,1201
França	1,0224	1,0687	1,0926
Itália	1,0000	1,0691	1,0691
Japão	1,0188	1,0043	1,0232
Coreia do Sul	1,1046	0,9256	1,0224
Estados Unidos	0,9385	1,0677	1,0021
Canadá	0,9659	1,0175	0,9828
Austrália	1,0000	0,9792	0,9792
Média países desenvolvidos	1,0221	1,0249	1,0464
Argentina	1,0000	1,0755	1,0755
Turquia	1,0468	1,0237	1,0716
China	0,8921	1,1462	1,0226
África do Sul	0,5581	1,8102	1,0103
México	0,9700	1,0414	1,0102
Índia	0,8900	1,1331	1,0084
Rússia	0,9094	1,0879	0,9893
Brasil	0,9696	1,0125	0,9817
Indonésia	0,6485	1,0767	0,6983
Média países emergentes	0,8761	1,1564	0,9853
Média Geral	0,9491	1,0906	1,0159

Fonte: Elaboração própria

Esse resultado indica que os países desenvolvidos possuem mais produtividade que os países emergentes em relação ao 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis) em relação a EC. No grupo dos países desenvolvidos, as DMUs com $MPI \geq 1$ foram a Alemanha (1,1260), Reino Unido (1,1201), França (1,0926), Itália (1,0691), Japão (1,0232), Coreia do Sul (1,0224) e Estados Unidos (1,0021). Os países emergentes com o $MPI \geq 1$ foram Argentina (1,0755), Turquia (1,0716), China (1,0226), África do Sul (1,0103), México (1,0102) e Índia (1,0084). Os países que apresentaram $MPI \geq 1$ obtiveram ganhos de produtividade no período.

Pode-se observar que no grupo de países desenvolvidos, o MPI foi moderadamente mais afetado por AT (1,0249) do que por AE (1,0221). Em relação à AT, as DMUs com maiores pontuações foram Itália (1,0691), França (1,0687) e Reino Unido (1,0637), países que conseguiram absorver mais as mudanças tecnológicas ocorridas no período e que afetaram todas as DMUs. Referente a AE, os países com maior pontuação foram Alemanha (1,0953) e Reino Unido (1,0531), as DMUs que mais obtiveram ganhos de eficiência.

Nos países emergentes, observou-se que o MPI foi mais afetado por AT (1,1564) do que por AE (0,8761), inclusive registrando valor inferior a 1 ($AE < 1$), ou seja, perda de produtividade. Os países com maior AT foram África do Sul (1,8102), China (1,1462) e Índia (1,1331), que mais se beneficiaram das alterações tecnológicas do período. Sobre as pontuações de AE, nos países emergentes, as pontuações mais altas foram Turquia (1,0468) – único do grupo que aumentou a produtividade devido as AE.

No contexto geral, com média de AE (0,9491) inferior as AT (1,0906) significa que os ganhos de produtividade estiveram mais relacionados aos ganhos de AT. Esse resultado indica que as DMUs conseguiriam elevar seus *outputs*, ou seja, indicam na prática quais países mais se beneficiaram com as mudanças tecnológicas, ocorridas entre 2010 e 2019, e que afetaram todas as DMUs. Os países que obtiveram pontuações $MPI < 1$, apresentaram queda de produtividade. Dessa forma, percebe-se que os países do G20 aumentaram a sua produtividade ($MPI = 1,0159$) para produção e consumo mais sustentáveis e avançar na realização do 12º ODS. A limitação deste modelo se encontra o fator temporal, de 2017 a 2019, o que não permitiu uma análise mais aprofundada.

5.4 Vida Terrestre: 15º ODS

Para elaborar os modelos de eficiência e produtividade do 15º ODS (Vida Terrestre) foi realizada a validação econométrica para os 19 países do G20 no período de 2016 a 2019, em virtude da disponibilidade dos dados. As equações econométricas aplicadas para verificar a relação entre os *outputs* e *inputs* correspondentes à EC e ao 15º ODS (Vida Terrestre) foram:

$$y^{RN}_{it} = \beta_0 + \beta_1 Ln_PIB_{it} + \beta_2 Ln_ST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (29)$$

$$y^{AF}_{it} = \beta_0 + \beta_1 Ln_PIB_{it} + \beta_2 Ln_ST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (30)$$

$$y^{TM}_{it} = \beta_0 + \beta_1 Ln_PIB_{it} + \beta_2 Ln_ST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (31)$$

$$y^{AT}_{it} = \beta_0 + \beta_1 Ln_PIB_{it} + \beta_2 Ln_ST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (32)$$

$$Ln_y^{BF}_{it} = \beta_0 + \beta_1 Ln_PIB_{it} + \beta_2 Ln_ST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (33)$$

$$y^{AD}_{it} = \beta_0 + \beta_1 Ln_PIB_{it} + \beta_2 Ln_ST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (34)$$

$$y^{LV}_{it} = \beta_0 + \beta_1 Ln_PIB_{it} + \beta_2 Ln_ST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (35)$$

Onde: β_n ($n = 0, \dots, 3$) são os coeficientes estimados, y^{RN} é o percentual de rendas totais dos recursos naturais; y^{AF} é o percentual de área florestal em relação ao território total; y^{TM} é

percentual de áreas terrestres e marinhas protegidas em relação ao território total; y^{AT} é percentual de áreas terrestres protegidas em relação ao território total; $\ln y^{BF}$ é a biomassa acima do solo na floresta; y^{AD} é a proporção média de áreas chave de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas; y^{LV} é o Índice de Lista Vermelha; \ln_{PIB} é o PIB; \ln_{ST} é a superfície territorial e ε é o erro aleatório. Os resultados da análise de regressão seguem sintetizados na Tabela 17.

Tabela 17. Estimativas econométricas dos *outputs* em relação aos *inputs* para o 15º ODS (Vida Terrestre)

Inputs (variáveis independentes)		Outputs (Variáveis dependentes)						
		Rendas totais de Recursos Naturais (% da área territorial total)	Área florestal (% da área territorial total)	Áreas terrestres e marinhas protegidas (% da área territorial total)	Áreas terrestres protegidas (% da área territorial total)	Ln_Biomassa acima do solo na floresta (toneladas por hectare)	Proporção de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas (%)	Índice de Lista Vermelha (%)
Ln_PIB	<i>Coef.</i>	-0,692***	1,431*	6,322***	4,960***	0,0659***	3,381***	0,681***
	<i>p-value</i>	0,0060	0,0500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0080
	<i>Std. Errors</i>	(0,252)	(0,731)	(0,463)	(0,521)	(0,00269)	(0,533)	(0,257)
Ln_Superfície Territorial	<i>Coef.</i>	0,532***	-0,324	-0,522	-2,553***	-0,0835***	-11,37***	0,376
	<i>p-value</i>	0,0000	0,6620	0,2250	0,0000	0,0000	0,0000	0,1370
	<i>Std. Errors</i>	(0,143)	(0,742)	(0,431)	(0,147)	(0,00224)	(0,769)	(0,253)
Constante	<i>Coef.</i>	14,51**	-5,388	-160,0***	-92,83***	3,684***	83,76***	67,32***
	<i>p-value</i>	0,0210	0,7690	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	<i>Std. Errors</i>	(6,291)	(18,32)	(10,61)	(14,64)	(0,0773)	(15,70)	(7,228)
Observações		76	76	76	76	76	76	76
Número de DMUs		19	19	19	19	19	19	19

Níveis de significância estatística: ***: $p < 0,01$; **: $p < 0,05$; *: $p < 0,1$

Fonte: Elaboração própria

Os potenciais *outputs*, considerados as variáveis dependentes nos modelos econométricos, avaliados foram: rendas totais de recursos naturais, área florestal, áreas terrestres e marinhas protegidas, áreas terrestres protegidas, biomassa acima do solo na floresta, proporção média de áreas chave de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas e o Índice de Lista Vermelha. Os potenciais *inputs* analisados foram o PIB e a superfície territorial do país.

O PIB apresentou significância estatística negativa ao nível de 1% com as rendas totais de recursos naturais (% da área territorial total). Além disso, essa variável demonstrou ser significativa positivamente com os seguintes *outputs*: área florestal (% da área territorial total), áreas terrestres e marinhas protegidas (% da área territorial total), áreas terrestres protegidas (% da área territorial total) e biomassa acima do solo na floresta (toneladas por hectare), proporção de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas (%) e o Índice de Lista Vermelha (%).

A superfície territorial demonstrou ser significativa positivamente ao nível de 1% com rendas totais de recursos naturais (% da área territorial total). Ademais, essa variável demonstrou ser significativa negativamente com os seguintes potenciais *outputs*: áreas terrestres protegidas (% da área territorial total), biomassa acima do solo na floresta (toneladas por hectare) e proporção de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas (%). Em contraste, esse *input* não apresentou significância estatística com os seguintes potenciais *outputs*: área florestal (% da área territorial total), áreas terrestres e marinhas protegidas (% da área territorial total) e Índice de Lista Vermelha (%), que também não foram considerados nos modelos de eficiência e produtividade. Sendo assim, após a validação econométrica, foram selecionadas as variáveis para o modelo de eficiência e produtividade, apresentadas na Quadro 7.

Quadro 7. Modelo de eficiência e produtividade sob a perspectiva da Economia Circular para o 15º ODS: Vida Terrestre

Modelo de eficiência e produtividade sob a perspectiva da Economia Circular para o 15º ODS: (Vida Terrestre)	
<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>
a) PIB b) Superfície territorial	1) Rendas totais de recursos naturais (% em relação ao PIB) 2) Áreas terrestres protegidas (% da área territorial total) 3) Biomassa acima do solo na floresta (toneladas por hectare) 4) Proporção média de áreas chave de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas

Fonte: Elaboração própria

Para verificar a eficiência do G20 em direção ao 15º ODS (Vida Terrestre) sob a perspectiva da Economia Circular, utilizou-se como *inputs* o PIB e a superfície territorial. E como *outputs* foram utilizadas as variáveis de áreas terrestres protegidas (% da área territorial total), biomassa acima do solo na floresta (toneladas por hectare) e proporção média de áreas chave de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas. No contexto apresentado, a variável rendas totais de recursos naturais é considerada um *output* indesejável. Para lidar com essa questão utilizou-se o procedimento de aditivo inverso, conforme exposto na seção 4.1.

Os resultados empíricos dos escores de eficiência são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18. Escores de eficiência referente ao 15º ODS (Vida Terrestre)

Países	Escores de Eficiência		
	Janela 1	Janela 2	Janela 3
Alemanha	1,0000	1,0000	1,0000
Austrália	0,6614	0,6795	0,6786
Canadá	0,4459	0,4446	0,4493
Coreia do Sul	1,0000	1,0000	1,0000
Estados Unidos	0,4082	0,4075	0,4070
França	1,0000	1,0000	1,0000
Itália	1,0000	1,0000	1,0000
Japão	1,0000	1,0000	0,8599
Reino Unido	1,0000	1,0000	1,0000
Média países desenvolvidos	0,8351	0,8368	0,8216
África do Sul	1,0000	1,0000	1,0000
Arábia Saudita	0,2816	0,2872	0,2845
Argentina	1,0000	1,0000	1,0000
Brasil	1,0000	1,0000	1,0000
China	0,2130	0,2158	0,2211
Índia	0,1822	0,1794	0,1772
Indonésia	1,0000	1,0000	1,0000
México	0,5563	0,5554	0,5543
Rússia	0,4843	0,4841	0,4826
Turquia	1,0000	1,0000	1,0000
Média países emergentes	0,6717	0,6722	0,6720
Média Geral	0,7491	0,7502	0,7429

Fonte: Elaboração própria

O modelo DEA-SBM orientado ao *output* com retornos variáveis de escala apresentou que a eficiência média dos países do G20 variou de 0,7491 no período da Janela 1 (2016-2017), para 0,7429 no período da Janela 3 (2017-2019), acumulando um decréscimo de 0,84%.

Os países desenvolvidos considerados eficientes foram Alemanha, Coreia do Sul, França, Itália e Reino Unido. As DMUs desse bloco consideradas mais ineficientes foram

Canadá e Estados Unidos. A média de eficiência nesse grupo de países foi de 0,8351 no período da Janela 1 (2016-2017), passando para 0,8216 no período da Janela 3 (2018-2019), registrando queda de 1,63%.

Os países emergentes que atingiram a fronteira de eficiência foram África do Sul, Argentina, Brasil, Indonésia e Turquia. Em contrapartida, as DMUs deste bloco que ficaram com os escores de eficiência mais inferiores Arábia Saudita, China e Índia. A média de eficiência dos países emergentes foi de 0,6717 no período da Janela 1 (2016-2017), passando para 0,6720 no período da Janela 3 (2018-2019), o que contabilizou em uma leve queda de 0,84% no período.

Esse resultado sinaliza que os países desenvolvidos são mais eficientes do que os países emergentes para o contexto do 15º ODS (Consumo e Produção Sustentáveis) em relação a EC.

Em relação as rendas totais de recursos naturais, os países do G20 apresentaram em média um crescimento de 9,73% no período de 2016-2019. As DMUs que mais aumentaram suas rendas por meio da exploração de recursos naturais foram Coreia do Sul (31,10%), Japão (29,32%), México (21,26%), Canadá (22,33%), Argentina (20,09%), Reino Unido (18,70%), Estados Unidos (15,70%) e Itália (14,75%). Os países que mais conseguiram reduzir suas rendas oriundas de recursos naturais foram Turquia (15,01%) e França (7,08%).

Os países do G20 apresentaram em média no período analisado um crescimento moderado de 0,24% de áreas terrestres protegidas. As DMUs que mais conseguiram aumentar este percentual foram: Japão (11,37%), Coreia do Sul (9,81%), Austrália (3,95%), Canadá e Arábia Saudita com 3%. Por outro lado, a África do Sul apresentou queda acentuada de 24,21% e a Turquia de 3,17%.

Referente a biomassa acima do solo, sendo uma variável importante pois está correlacionado com a capacidade de um ecossistema de gerar estoque de carbono. Nesse caso, esta característica é específica das condições ecossistêmicas de cada país e não sofre muita variação sendo mais elevada na Alemanha, Argentina, Brasil e Indonésia.

Sobre a proporção média de áreas chave de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas observou-se que a França obteve o maior crescimento no período de 7,32%, seguido por África do Sul (3,15%), China (2,66%) e Austrália (2,05%).

Tittensor et al. (2014) argumenta que a conservação da vida terrestre é reconhecida no 15º ODS e quando os ODS foram adotados pela ONU em 2015, todos os indicadores mostravam que a vida terrestre estava em declínio.

Segundo Sayer et al. (2019), o 15º ODS (Vida Terrestre) exige a integração com outros ODS. Na presente pesquisa verifica-se a correlação deste ODS com o 6º ODS (Água Potável e

Saneamento), sendo representada pela variável proporção média de áreas chave de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas.

Ainda de acordo com Sayer et al. (2019), por um lado, há competição pela terra em relação a implementação de outros ODS, mas também há sinergias e oportunidades que requerem reconhecimento como: cobertura e manejo florestal, manutenção da biodiversidade e instrumentos financeiros e políticos. Confrontando com os resultados do *ranking* desenvolvido para este ODS foi possível identificar os países eficientes - Alemanha, Coreia do Sul, França, Itália, Reino Unido, África do Sul, Argentina, Brasil, Indonésia e Turquia – podem ser utilizados como *benchmarks* de melhores práticas.

Em relação a Europa, o continente vem desenvolvendo políticas de grande volume de financiamento público para a agricultura, como a possibilidade de transferir pagamento direto a esquemas ecológicos para recompensar a agricultura multifuncional e assim ampliar as áreas de conservação (ZIEGLER, 2022). No *ranking* elaborado, os países europeus apresentaram as áreas terrestres protegidas mais extensas. No período de 2016 a 2019, a Alemanha deteve em média 37,64% de seu território total de áreas conservadas, seguida do Reino Unido (25,58%), França (25,99%) e Itália (21,52%). O continente começou a apoiar a agricultura orgânica desde 1992, mas só a partir de 2020 foi declarada a Estratégia “*Farm-to-Fork*”, que é estender a agricultura orgânica para atingir ao menos 25% da área agrícola total até 2030 (EUROPEAN COMMISSION, 2023).

Sayer et al. (2019), destacam que a Indonésia está assumindo uma posição forte na implementação do 15º ODS – país que atingiu a eficiência no modelo elaborado nesta pesquisa - mas, como muitos outros países, é desafiada a entender completamente como os ODS interagem e sendo uma economia emergente, seu desenvolvimento está se expandindo rapidamente para áreas ricas em biodiversidade terrestre e marinha, além de cerca de 10% dos indonésios vivem abaixo da linha nacional de pobreza.

De acordo com Zalles et al. (2019), ao longo das última décadas o desenvolvimento da tecnologia associada a políticas agrícolas levaram ao aumento da produtividade da terra, o que resultou em uma redução da pressão sobre o uso da terra, inclusive devido a prática de cultivo duplo, como ocorre no Brasil e Argentina. Esses países também se mostraram eficientes no *ranking* apresentado.

O Brasil também se destaca frente ao mundo como uma grande potência ambiental, uma vez que detém mais de 60% da Floresta Amazônica, a maior floresta tropical contínua do planeta (ANDERSEN et al., 2002) – além de sua matriz energética ser majoritariamente renovável (WORLD BANK, 2022a). O país detém 20% da biodiversidade do planeta e 30% de

suas florestas tropicais (FAO, 2022). O Brasil está implementando ações relacionadas à preservação, conservação ambiental e redução do impacto das atividades humanas no meio ambiente (BARROSO et al., 2019).

Ainda segundo Sayer et al. (2019), a manutenção da vida terrestre deve ser vista como uma prioridade por meio de convenções e acordos internacionais. Em especial, para as áreas nativas em que a complexidade da perda de florestas tropicais e do declínio da biodiversidade versus os recursos limitados para conservação e silvicultura representam muitos desafios. Sendo assim, ao identificar os *benchmarks* pode-se realizar estudos de caso mais aprofundados nesses países para entender melhor as medidas e políticas ambientais aplicadas e seus desdobramentos para realização de avanços no 15º ODS (Vida Terrestre).

Referente a produtividade, o MPI mostrou que a variação média do G20, ao longo de 2016-2019, foi de 0,9567. Nos países desenvolvidos o MPI foi de 0,9933 e nos países emergentes foi de 0,9238. Sendo assim, esse resultado sinaliza que os países desenvolvidos possuem mais produtividade que os países emergentes para a realização do 15º ODS (Vida Terrestre) sob a ótica da EC.

No grupo dos países desenvolvidos, as DMUs com MPI=1 Alemanha, Coreia do Sul, Estados Unidos, Itália, Japão e Reino Unido. Os países emergentes que atingiram MPI=1 Argentina e China. Notou-se que nenhuma DMU atingiu escores de produtividade MPI>1, indicando que não houve ganhos de produtividade.

Pode-se observar que no grupo de países desenvolvidos, o MPI foi ligeiramente mais afetado pelas AT (0,9970), do que pelas AE (0,9963). Em relação as AT, todas as DMUs atingiram MPI=1, exceto Austrália (0,9900), Canadá (0,9879) e França (0,9946), sendo os países que menos conseguiram se beneficiar das AT que atingiram todas as DMUs. Referente às AE, todos alcançaram MPI=1, com exceção de Austrália e Canadá, países que mais reduziram sua produtividade devido ao seu desempenho de eficiência.

Os resultados empíricos para pontuações de produtividade são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19. Escores de Produtividade referente ao 15º ODS (Vida Terrestre)

Países	Escores de Produtividade		
	AE	AT	MPI
Alemanha	1,0000	1,0000	1,0000
Austrália	0,9881	0,9900	0,9782
Canadá	0,9786	0,9879	0,9668
Coreia do Sul	1,0000	1,0000	1,0000
Estados Unidos	1,0000	1,0000	1,0000
França	1,0000	0,9946	0,9946
Itália	1,0000	1,0000	1,0000
Japão	1,0000	1,0000	1,0000
Reino Unido	1,0000	1,0000	1,0000
Média países desenvolvidos	0,9963	0,9970	0,9933
África do Sul	1,0000	0,9970	0,9970
Arábia Saudita	0,9947	0,9997	0,9944
Argentina	1,0000	1,0000	1,0000
Brasil	1,0000	0,9776	0,9776
China	1,0000	1,0000	1,0000
Índia	0,9676	0,9897	0,9576
Indonésia	1,0000	0,9643	0,9643
México	0,9992	0,9881	0,9873
Rússia	0,9848	0,9919	0,9769
Turquia	1,0000	0,3831	0,3831
Média países emergentes	0,9946	0,9291	0,9238
Média Geral	0,9954	0,9613	0,9567

Fonte: Elaboração própria

Nos países emergentes, o MPI foi mais afetado pelas AE (0,9946) do que pelas AT (0,9291). Todas as DMUs apresentaram AE=1, exceto Arábia Saudita (0,9947), Índia (0,9676), México (0,992) e Rússia (0,9848), países que mais perderam produtividade devido sua performance de eficiência. Sobre o AT, apenas Argentina e China apresentaram MPI=1, as demais DMUs poderiam ter aproveitado mais para aumentar sua produtividade por meio das mudanças tecnológicas do período e que afetaram todas as DMUs.

No contexto geral, com média de AE (0,9954) superior a AE (0,9613) significa que não houve ganhos efetivos de produtividade, uma vez que os dois escores foram inferiores a 1. Esse resultado está de acordo com os achados do modelo de eficiência que sinalizou decréscimo de eficiência no período de 1,64%. Dessa forma, percebe-se que todos os países do G20 devem rever suas estratégias para aumentar seu MPI e avançar na implementação do 15º ODS (Vida Terrestre).

5.5 Síntese dos modelos de eficiência e produtividade

Os modelos de eficiência e produtividade elaborados procuraram por variáveis que abordassem a classificação macro da EC – conforme apresentado na subseção 3.3 - que

pudessem identificar uma relação da EC com o avanço dos ODS. O Quadro 8 sintetiza os resultados dos modelos de eficiência, são apresentados os ODS, os *inputs* e *outputs* utilizados em cada modelo de eficiência, a média de eficiência, as DMUs eficientes e menos eficientes.

Pode-se verificar que os quatro modelos de eficiência elaborados apresentaram decréscimo em seus respectivos períodos de análise. O 6º ODS (Água Potável e Saneamento) apresentou queda de 10,60%, o 7º ODS (Energia Limpa e Acessível) de 0,98%, o 12º ODS (Produção e Consumo Responsáveis) de 8,58% e o 15º ODS (Vida Terrestre) de 0,84%. Nesse sentido, às questões da água e da produção e consumo responsáveis, por apresentarem um decréscimo mais acentuado da eficiência, podem ser elencadas como mais urgentes. Esse resultado confirma que, no caso dos países do G20, os indicadores desenvolvidos (modelos de eficiência e produtividade) mostraram que de fato os recursos naturais estão sendo pressionados e novas estratégias como a Economia Circular e a realização dos ODS para alcançar o desenvolvimento sustentável (DANTAS et al., 2021; SCHROEDER et al., 2019; RODRIGUEZ-ANTON et al., 2019).

De maneira geral, verificou-se que os países do G20 apresentaram queda da eficiência e produtividade, este desempenho pode sinalizar um ritmo mais acelerado de exploração e gestão inadequada dos recursos naturais - que impactam a realização dos ODS (MERINO-SAUM et al., 2018; DICKENS et al., 2020) - do que a capacidade dos países em aumentar a sua produtividade relacionada as alterações da eficiência e principalmente da tecnologia.

Esses resultados podem contribuir para a elaboração de uma estratégia de prioridades para a realização dos ODS, sendo questões referentes ao 6º e 12º ODS, por exemplo, a escassez hídrica, mudanças climáticas e emissões de CO₂, por mais que estejam interligadas com os demais ODS, podem ser consideradas mais urgentes do que as metas do 7º ODS - em que se verifica a necessidade de uma infraestrutura mais organizada para a viabilidade de se desenvolver energia renovável e outras fontes limpas de energia – e do 15º ODS que depende de uma legislação ambiental mais rigorosa.

Além disso, exceto para o 7º ODS (Energia Limpa e Acessível), os países desenvolvidos mostraram ter escores de eficiência e produtividade mais elevados que os países emergentes. Esse resultado pode apontar para serem realizados estudos mais aprofundados dos fatores que levem a este maior desempenho como legislação ambiental, tecnologia, infraestrutura, localização geográfica e condições edafoclimáticas. Nesse modelo, os países emergentes demonstraram mais eficiência e produtividade, ou seja, estas DMUs possuem uma participação maior de energia renovável em sua matriz energética, como Brasil e Índia.

As DMUs consideradas eficientes (aquelas que atingiram 1 na escala de eficiência) podem servir como *benchmarkings*, ou seja, como modelo de referência de Economia Circular (ou oportunidades de aplicação) e gestão de melhores práticas para que as demais ineficientes alcancem a fronteira de eficiência. Dessa forma, ao se identificar os países *benchmarkings*, é possível realizar estudos de casos para identificar de maneira mais aprofundada políticas públicas a nível nacional ou regional que contribuem para a realização dos ODS avaliados nos modelos de eficiência e produtividade, e assim promover um equilíbrio entre o meio ambiente, os aspectos sociais e econômicos do desenvolvimento

O Brasil foi o único país que foi eficiente em todos os modelos. A Argentina também atingiu a eficiência nos três modelos que participou (7º ODS – Energia Limpa e Acessível, 12º ODS – Consumo e Produção Responsáveis e 15º ODS – Vida Terrestre) – tendo sido excluída do modelo 6º ODS (Água Potável e Saneamento) por falta de dados. Este achado vai ao encontro de trabalhos - Rusydiana et al., (2021); Zafar et al., (2021); Ma et al., (2020); Liu et al., (2021a); Lacko et al., (2021); Giannakitsidou et al. (2020), Lu et al., (2020) e Zhang et al., (2022) - que identificaram que a questão regional influencia a performance da eficiência.

Ainda sobre este contexto, os países europeus – Alemanha, Reino Unido, França e Itália - foram os mais eficientes no modelo para o 15º ODS (Vida Terrestre), pois detêm um percentual mais elevado de áreas de conservação em relação ao seu território, indicando também a influência da questão geográfica e regional para políticas ambientais.

A África do Sul foi eficiente em três modelos (6º ODS – Água Potável e Saneamento, 7º ODS – Energia Limpa e Acessível e 15º ODS – Vida Terrestre), e a Índia em dois modelos (6º ODS e 7º ODS), podendo ser classificadas no grupo de países emergentes, caracterizados por terem disponibilidade mais recursos naturais, pelo consumo de energia renovável e consequentemente uma menor emissão de CO₂.

A Coreia do Sul se mostrou eficiente nos modelos para o 7º ODS (Energia Limpa e Acessível) e 15º ODS (Vida Terrestre), tendo sido um país que aumentou a energia renovável (7º ODS) e suas áreas de conservação (15º ODS). Austrália, por sua vez, apresentou-se eficiente para o 6º ODS (Água Potável e Saneamento), pois diminuiu seu estresse hídrico, e para 15º ODS, apresentando também crescimento das áreas de conservação ambiental em seu território.

Por outro lado, a China e Estados Unidos estiverem com os escores mais inferiores de eficiência (sendo significativamente ineficientes) em todos os modelos, consideradas as maiores economias no mundo, detêm os níveis de maiores emissões de CO₂, com fonte energética majoritariamente provenientes de combustíveis fósseis, o que impacta os resultados do 7º ODS (Energia Limpa e Acessível) e 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis). Além

de serem países com grande extensão territorial, a China apresentou decréscimo em suas áreas de conservação ambiental e os Estados Unidos se manteve estável, não conseguindo ampliar estas áreas, o que contribuiu para a ineficiência no 15º ODS (Vida Terrestre). E, em relação ao 6º ODS (água potável e acessível), ambos os países aumentaram seu nível de estresse hídrico.

O México, por sua vez, foi mais ineficiente no modelo 6º ODS (Água Potável e Saneamento), devido ao aumento do estresse hídrico, e 7º ODS (Energia Limpa e Acessível), por causa do decréscimo de energia renovável no fornecimento primário e aumento do consumo da eletricidade.

E, por fim, tanto a Rússia como o Japão apresentaram escores significativamente ineficientes para os modelos do 7º ODS (Energia Limpa e Acessível) e do 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis). Esse resultado é em virtude do elevado consumo de energia fóssil, que contribui para aumento do CO₂ e impactos ambientais. O Quadro 8 apresenta a síntese de informações dos Modelos de eficiência elaborados.

Quadro 8. Síntese de informações dos Modelos de eficiência elaborados

Objetivo de Desenvolvimento Sustentável	<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>	Média de Eficiência	Efficientes (<i>Benchmarkings</i>)	Menos eficientes
6°. Água potável e saneamento	a) Percentual da população que usa pelo menos serviços básicos de água potável b) Recursos internos renováveis de água doce <i>per capita</i>	1) Tratamento de água poluída (%) 2) Nível de estresse hídrico	Janela 1 (2010-2014) – 74,40% Janela 6 (2015-2019) – 67,27% Decréscimo de 10,60%	Alemanha, Austrália, Reino Unido, Arábia Saudita, Brasil, África do Sul e Índia	Estados Unidos, Turquia, México, China e Indonésia
7°. Energia limpa e acessível	a) Energia renovável como fonte de energia primária	1) Emissões totais de GEE (combustíveis fósseis) 2) Consumo de eletricidade 3) Consumo de energia renovável	Janela 1 (2010-2014) – 64,71% Janela 6 (2015-2019) – 64,08% Decréscimo de 0,98%	Coreia do Sul, África do Sul, Argentina, Brasil e Índia	Alemanha, Estados Unidos, Japão, China e Rússia.
12°. Consumo e produção responsáveis	a) Formação bruta de capital b) Força de trabalho c) Fornecimento de energia primária	1) Consumo interno de material 2) Emissões totais de gases de efeito estufa [GEE] 3) Consumo de energia renovável	2017- 61,01%, 2019 - 56,19%, Decréscimo de 8,58%	Austrália, Canadá, Itália, Argentina e Brasil	Japão, Coreia do Sul, Estados Unidos, Índia, Rússia e China
15°. Vida Terrestre	a) PIB b) Superfície territorial	1) Rendas totais dos recursos naturais (% do PIB) 2) Áreas terrestres e marinhas protegidas (% da área territorial total) 3) Biomassa acima do solo na floresta (toneladas por hectare) 4) Proporção média de áreas chave de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas	Janela 1 (2016-2017) - 74,91%, Janela 3 (2017-2019) - 74,29%, Decréscimo de 0,84%	Alemanha, Coreia do Sul, França, Itália, Reino Unido, África do Sul, Argentina, Brasil, Indonésia e Turquia	Canadá, Estados Unidos, Arábia Saudita, China, Índia e Rússia.

Fonte: Elaboração própria

Referente ao MPI, todos os modelos apresentados – exceto o 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis) – apresentaram queda de produtividade, principalmente devido as alterações tecnológicas (AT).

Para o 6º ODS (Água Potável e Saneamento), o MPI=0,8883, como foi inferior a 1, significa que ocorreu perda de produtividade no período de 2010-2019. Aquelas DMUs com o MPI mais elevado (MPI=1), mas que apenas mantiveram a produtividade, foram: Alemanha, Canadá, França e Reino Unido, todos países desenvolvidos. Pode-se verificar que o MPI, ou seja, a queda da produtividade aconteceu de forma mais amena devido as alterações de eficiência com AE=0,9770 do que por alterações tecnológicas com AT=0,9167. Os países classificados como *benchmarks* com AE>1 foram apenas Japão (1,0071) e Rússia (2,0244), aqueles que mantiveram AE=1 foram: Alemanha, Austrália, Canadá, França, Reino Unido, África do Sul, Arábia Saudita, Brasil e Índia. Referente as AT, nenhum país conseguiu atingir AT>1, as DMUs que mantiveram AT=1, ou seja, que se apresentaram constantes no período foram Alemanha, Canadá, França e Reino Unido.

Sobre o 7º ODS (Energia Limpa e Acessível), o MPI=0,8608, o que indica que houve queda de produtividade no período de 2010-2019. As DMUs com MPI>1 foram: Canadá (1,0329), África do Sul (1,0400), Índia (1,4400) e Indonésia (1,0360). Essa redução da produtividade ocorreu em virtude das alterações tecnológicas com AT=0,9102. Em contraste, as alterações de eficiência apresentaram aumento de produtividade com AE=1,0224. Os países que podem ser classificados como modelos de referência com AT>1 foram: Canadá (1,1994), África do Sul (1,0400), Índia (1,4400) e Indonésia (1,0360). A única DMU que manteve seu AT=1 foi a Itália. Por outro lado, as DMUs que podem ser classificadas como modelos de referências com AE>1, encontram-se Rússia (3,1655) e México (1,0442), e aquelas que mantiveram AE=1 foram: Coreia do Sul, Itália, África do Sul, Argentina, Brasil, Índia e Indonésia.

O 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis) foi o único dos modelos elaborados que apresentou produtividade com MPI=1,0159, no período de 2017 a 2019. Os países desenvolvidos que apresentaram os escores mais elevados foram: Alemanha (1,1260) e Reino Unido (1,1201). Outras DMUs que apresentaram MPI>1 foram: França, Itália, Japão, Coreia do Sul e Estados Unidos. Em relação aos países emergentes, aqueles com MPI mais alto foram: Argentina (1,0755) e Turquia (1,0716). Outras DMUs que apresentaram o MPI>1, foram: China, África do Sul, México e Índia. O MPI apresentou mais ganhos de produtividade devido as alterações tecnológicas com AT=1,0906 do que em razão das alterações de eficiência com AE=0,9491. Em relação as AT os países considerados como referência foram África do Sul

(1,8102), China (1,1462) e Índia (1,1331). E, referente às AE, as DMUs com $MPI > 1$ foram: Alemanha (1,0953), Reino Unido (1,0531) e Turquia (1,0468).

E, por fim, referente ao 15º ODS (Vida Terrestre), o $MPI = 0,9567$, indicando que a produtividade sofreu queda no período de 2016-2019. Nenhum país obteve um escore acima de 1, e aqueles que se mantiveram constantes ($MPI = 1$) foram: Alemanha, Coreia do Sul, Estados Unidos, Itália, Japão, Reino Unido, Argentina e China. A redução da produtividade foi mais em razão das alterações tecnológicas ($AT = 0,9613$) do que alterações de eficiência ($AE = 0,9954$). Nenhuma DMUs atingiu pontuações de $AT > 1$ e as que atingiram $AT = 1$ foram: Alemanha, Coreia do Sul, Estados Unidos, Itália, Japão, Reino Unido, Argentina e China. O mesmo fato ocorreu com a questão das AT, sendo aquelas DMUs que alcançaram $AE = 1$: Alemanha, Coreia do Sul, Estados Unidos, França, Itália, Japão, Reino Unido, África do Sul, Argentina, Brasil, China, Indonésia e Turquia. O Quadro 9 apresenta a síntese de informações dos Modelos de produtividade elaborados.

Quadro 9. Síntese de informações dos Modelos de produtividade elaborados

Objetivo de Desenvolvimento Sustentável	<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>	AE	AT	MPI
6°. Água potável e saneamento	a) Percentual da população que usa pelo menos serviços básicos de água potável b) Recursos internos renováveis de água doce <i>per capita</i>	1) Tratamento de água poluída (%) 2) Nível de estresse hídrico	0,9770	0,9167	0,8883
7°. Energia limpa e acessível	a) Energia renovável como fonte de energia primária	1) Emissões totais de GEE (combustíveis fósseis) 2) Consumo de eletricidade 3) Consumo de energia renovável	1,0224	0,9102	0,8608
12°. Consumo e produção responsáveis	a) Formação bruta de capital b) Força de trabalho c) Fornecimento de energia primária	1) Consumo interno de material 2) Emissões totais de gases de efeito estufa [GEE] 3) Consumo de energia renovável	0,9491	1,0906	1,0159
15°. Vida Terrestre	a) PIB b) Superfície territorial	1) Rendas totais dos recursos naturais (% do PIB) 2) Áreas terrestres e marinhas protegidas (% da área territorial total) 3) Biomassa acima do solo na floresta (toneladas por hectare) 4) Proporção média de áreas chave de biodiversidade de água doce cobertas por áreas protegidas	0,9954	0,9613	0,9567

Fonte: Elaboração própria

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo verificar as hipóteses de as práticas de Economia Circular colaboram para alcançar o progresso na realização dos ODS, versus a alternativa de que estas são autossuficientes. A hipótese foi confirmada para os seguintes ODS: 6º (Água Potável e Saneamento), 7º (Energia Limpa e Acessível), 12º (Consumo e Produção Responsáveis) e 15º (Vida Terrestre). A hipótese foi rejeitada para o 8º ODS (Trabalho Decente e Crescimento Econômico).

A revisão bibliográfica demonstrou que a Economia Circular pode ser uma alternativa para auxiliar no cumprimento dos ODS. Dado isso, a análise foi aprofundada para mensurar a eficiência e produtividade dos países do G20 em práticas da Economia Circular, que contribuem para atingir alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio, também selecionados a partir da revisão de literatura. A eficiência e produtividade foram elaboradas separadamente. Para determinar a eficiência utilizou-se o modelo DEA-SBM (*Data Envelopment Analysis - Slacks-Based Measure*) e para a produtividade o *Malmquist Productivity Index* (MPI), o estudo correspondeu ao período de 2010-2019.

Para tal, foram elaborados quatro modelos de eficiência e produtividade, baseados em Schroeder et al. (2019) - que identificaram os ODS mais correlacionados com as práticas de EC - para avaliar o desempenho relativo de países, por exemplo, considerando os seguintes ODS: 6º Água Potável e Saneamento; 7º Energia Limpa e Acessível; 12º Consumo e Produção Responsáveis, e 15º Vida Terrestre.

No que tange ao 6º ODS (Água Potável e Saneamento), no período de 2010 a 2019, os países do G20 identificados como *benchmarkings* foram a Alemanha, a Austrália e o Reino Unido – devido ao elevado tratamento de águas residuais que apresentaram. O Brasil, em virtude de sua dotação natural, é o maior detentor das reservas de água doce do mundo, apresentou o menor nível de estresse hídrico da amostra. Observou-se que período analisado de 2010 a 2019, tanto a eficiência como a produtividade do G20 sofreram queda, o que pode ser explicado pelo aumento no consumo de água a uma taxa maior do que a adoção de novas tecnologias para o tratamento da água. Sendo assim, fatores atrelados com a EC como gestão eficiente da água, tratamento de águas residuais e ciclo fechado na indústria podem ser mais explorados para o desenvolvimento de políticas ambientais relacionadas com a proteção dos recursos hídricos, gestão sustentável da água, planejamento e governança dos recursos hídricos, promoção do acesso universal à água potável e saneamento e conservação de ecossistemas relacionados à água.

Para o 7º ODS (Energia Limpa e Acessível), no período de 2010 a 2019, observou-se como *outliers* positivos o Brasil e Índia - pela elevada aplicação de energia renovável - e Coreia do Sul – devido a sua expansão em energia renovável. Como *outliers* negativos Estados Unidos e China, em virtude do elevado grau de utilização de combustíveis de fontes fósseis e emissões de GEE. A perda da eficiência e produtividade pode estar relacionada com o aumento da demanda de energia e eletricidade em um ritmo mais acelerado do que o desenvolvimento de tecnologias de energia renovável. Os aspectos da EC que podem ser aprofundados como eficiência energética, desenvolvimento de energias renováveis e minimização da pegada do carbono estão ligados à formulação de políticas ambientais direcionadas para a transição para fontes limpas de energia, acesso universal à energia, regulamentação das emissões de GEE e a implementação de incentivos econômicos (subsídios, tarifas, investimentos em P&D) para facilitar a adoção de energias limpas e tecnologias sustentáveis.

Sobre o 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis), no período de 2017 e 2019, o modelo indicou que a eficiência estava atrelada ao consumo doméstico de materiais, tendo como *benchmarks* Argentina e Itália. Em relação a queda das emissões de GEE, aos países como referência foram Argentina e Brasil. E, devido a matriz energética baseada na energia renovável – novamente tendo o Brasil como uma DMU modelo. Nesse modelo, os países perderam eficiência. Este, foi o único modelo que apresentou aumento da produtividade, sendo mais relacionados com desenvolvimento de tecnologias do que de eficiência. Nesse sentido, a EC está correlacionada com a minimização do desperdício, reutilização e reciclagem de materiais, design de produtos circulares e mudança de padrões de consumo, que estão atrelados a elaboração de políticas ambientais direcionadas a regulamentação e normas de sustentabilidade, incentivos econômicos (subsídios, isenções fiscais e financiamento) para as empresas promoverem práticas sustentáveis.

Em relação ao 15º ODS (Vida Terrestre), foram identificados como DMUs de referência países europeus – Alemanha, França, Itália e Reino Unido – pelo aumento das suas áreas de conservação. E, Brasil, Argentina e Indonésia pelo nível de biomassa acima do solo na floresta – importante variável correlacionada com a capacidade dos estoques de carbono de um país. O decréscimo da eficiência e produtividades indica que os recursos relacionados com a Vida Terrestre podem estar sendo consumidos de uma maneira mais acentuada que a capacidade e implementação de tecnologias para mantê-los. Os fatores que conectam a EC como a gestão sustentável de recursos naturais, promoção da agricultura e florestas sustentáveis e redução do desperdício de alimentos se conectam com políticas ambientais voltadas para a conservação da biodiversidade e restauração de ecossistemas.

No contexto geral, a queda da eficiência e produtividade dos modelos apresentados demonstraram que os recursos naturais vêm sendo pressionados em um ritmo mais acelerado do que seu ciclo de circularidade. Além disso, verificou-se que exceto para o 7º ODS (Energia Limpa e Acessível), para todos os modelos os países desenvolvidos apresentaram escores de eficiência e produtividade mais elevados que os países emergentes. Dessa forma, novas alternativas a caminho do desenvolvimento sustentável estão sendo colocadas mais a luz como a Economia Circular e os ODS, o que dependerá também de uma parceria global, tendo o G20 como *benchmark*.

Nessa conjuntura, se faz importante identificar os fatores que pressionam o consumo dos recursos naturais nos países identificados, como o crescimento populacional, o desenvolvimento industrial, urbanização, consumo excessivo, tecnologia e inovação, políticas ambientais como regulamentação e fiscalização e mudanças climáticas. Esses fatores muitas vezes interagem entre si, criando um ciclo que pode agravar a exploração dos recursos naturais e a sua conseqüente degradação. É importante adotar abordagens sustentáveis para garantir a preservação e uso adequado dos recursos naturais para as gerações presentes e futuras.

Os modelos propostos neste estudo são simplificações do cenário real sobre o desempenho de práticas de Economia Circular – apenas em seu nível macro - que podem contribuir para a realização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio. Desse modo, o que aqui se apresenta não é um estudo de conclusão definitivo, levando ainda em consideração os desdobramentos da pandemia da Covid-19, que podem ter alterado a trajetória de evolução do desenvolvimento sustentável no mundo. Ainda assim, a presente pesquisa denota importância em seus resultados, com objetivo de analisar os efeitos da Economia Circular para o avanço no cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio.

A contribuição deste estudo para o estado da arte se mostra como relevante, uma vez que não foi localizado na literatura outro trabalho que analisasse a eficiência e produtividade, por meio do Modelo SBM-DEA orientado ao *output* (Tone, 2001) e o MPI baseado em Tone e Tsutsui (2017) de variáveis relacionadas a EC – em seu nível macro – que podem impactar no cumprimento dos ODS, analisando o G20, em um período mais recente 2010-2019.

Do ponto de vista aplicado, os resultados obtidos neste trabalho podem contribuir para auxiliar no desenho de políticas públicas e tomada de decisão governamental para elevar a eficiência de políticas ambientais e a amplitude de oportunidades voltadas ao desenvolvimento sustentável. Desse modo, os países do G20 eficientes podem servir como *benchmarkings* (referência) para aquelas DMUs com níveis de eficiência menores. Além disso, baseado nos

escores de eficiência, tanto de *outliers* positivos ou negativos, os formuladores de políticas públicas podem aprofundar as causas, por exemplo, por meio de estudos de casos, que influenciam o desempenho das DMUs.

Dentre as principais limitações e dificuldades na realização do presente trabalho, pode-se elencar a complexidade em se encontrar uma base de dados padronizada com maior horizonte temporal e até mesmo a atualização de outras variáveis que poderiam ser aplicadas, principalmente nos modelos direcionados ao 12º ODS (Consumo e Produção Responsáveis) e 15º ODS (Vida Terrestre).

Como proposta de futuros estudos, sugere-se a utilização de outras variáveis levando em consideração aspectos da Economia Circular – em seu nível meso e micro - e de até outros métodos, estendendo as análises de eficiência para municípios, estados ou até mesmo blocos geográficos. Além disso, sugere-se a avaliação de outros ODS e políticas ambientais direcionadas ao uso eficiente de recursos, desenvolvimento de energias renováveis, planejamento urbano sustentável, conservação da biodiversidade, políticas e regulamentações a nível local, nacional e internacional -como o Acordo de Paris (2015) e colaboração e parcerias a nível global, que se mostrem essenciais para o progresso do desenvolvimento sustentável nos países do G20 e no mundo.

REFERÊNCIAS

- ALVES JUNIOR, P. N.; MELO, I. C.; SANTOS, R. DE M.; DA ROCHA, F. V.; CAIXETA-FILHO, J. V. How did COVID-19 affect green-fuel supply chain? A performance analysis of Brazilian ethanol sector. **Research in Transportation Economics**, v. 93, n. C, 2022.
- ANDERSEN, L. E.; GRANGER, C. W.; REIS, E. J.; WEINHOLD, D.; WUNDER, S. **The dynamics of deforestation and economic growth in the Brazilian Amazon**. Cambridge University Press, 2002. 282f.
- AVKIRAN, N. K. Investigating technical and scale efficiencies of Australian universities through data envelopment analysis. **Socio-economic planning sciences**, v. 35, n. 1, p. 57–80, 2001.
- BAGHERI, N. Evaluation of the Efficiency of UAE Sectors on the Basis of Sustainable Development Objectives and Circular Economy Using DEA. 2021. 1st International Conference on Cyber Management and Engineering (CyMaEn). **Anais...** . p.1–3, 2021.
- BAKSHI, S. K.; BHATTACHARJYA, S.; MEIDL, R. A. A G20 circular carbon economy: policies and practices to foster circularity in plastics. **G20 Insights**, 2020.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1984. Disponível em: <<https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.30.9.1078>>. Acesso em: dez. 2021.
- BARROSO, P. A. V.; DE OLIVEIRA, Y. M. M.; DE MATTOS, P. P. SDG 15 in global and Brazilian scenarios, and in Embrapa scenario. 2019.
- BEMOWSKI, K. The benchmarking bandwagon. **Quality progress**, v. 24, n. 1, p. 19–24, 1991.
- BEN LAHOUEL, B.; TALEB, L.; BEN ZAIED, Y.; MANAGI, S. Does primary stakeholder management improve competitiveness? A dynamic network non-parametric frontier approach. **Economic Modelling**, v. 116, p. 106010, 2022.
- BIJOS, J. C. B. F.; ZANTA, V. M.; MORATÓ, J.; QUEIROZ, L. M.; OLIVEIRA-ESQUERRE, K. P. S. R. Improving circularity in municipal solid waste management through machine learning in Latin America and the Caribbean. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 28, p. 100740, 2022.
- BOCKEN, N. M. P.; RITALA, P.; HUOTARI, P. The Circular Economy: Exploring the Introduction of the Concept Among S&P 500 Firms. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 487–490, 2017.
- BRONNER, M.; SEE, K. F.; YU, M.-M. Circular water economy performance evaluation based on dynamic network data envelopment analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 367, p. 132474, 2022.
- CABERNARD, L.; PFISTER, S.; HELLWEG, S.; BAPTISTA, M. J. **Natural resource use in the group of G20: Status, trends, and solutions**. ETH Zurich, 2019.

CAMPOLI, J. S.; ALVES JÚNIOR, P. N.; ROSSATO, F. G. F. DA S.; REBELATTO, D. A. DO N. The efficiency of Bolsa Familia Program to advance toward the Millennium Development Goals (MDGs): A human development indicator to Brazil. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 71, n. 3, p. 100748, 2020.

DE ALMEIDA, M. R.; MARIANO, E. B.; DO NASCIMENTO REBELATTO, D. A. Análise por Envoltória de Dados-Evolução e possibilidades de aplicação. **Simpósio de Administração de Produção, Logística e Operações Internacionais**, v. 9, 2006.

DE CARVALHO ARAÚJO, C. K.; BIGARELLI FERREIRA, M.; SALVADOR, R.; et al. Life cycle assessment as a guide for designing circular business models in the wood panel industry: A critical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 355, p. 131729, 2022.

CASTELLET-VICIANO, L.; HERNÁNDEZ-CHOVER, V.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F. The benefits of circular economy strategies in urban water facilities. **Science of the Total Environment**, v. 844, p. 157172, 2022.

DE CASTRO CAMIOTO, F.; MARIANO, E. B.; DO NASCIMENTO REBELATTO, D. A. Efficiency in Brazil's industrial sectors in terms of energy and sustainable development. **Environmental Science & Policy**, v. 37, p. 50–60, 2014.

CAVES, D. W.; CHRISTENSEN, L. R.; DIEWERT, W. E. Multilateral Comparisons of Output, Input, and Productivity Using Superlative Index Numbers. **The Economic Journal**, v. 92, n. 365, p. 73–86, 1982.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; GOLANY, B.; SEIFORD, L.; STUTZ, J. Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions. **Journal of econometrics**, v. 30, n. 1–2, p. 91–107, 1985.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978.

CHEAH, C. G.; CHIA, W. Y.; LAI, S. F.; et al. Innovation designs of industry 4.0 based solid waste management: Machinery and digital circular economy. **Environmental Research**, v. 213, p. 113619, 2022.

CHEN, D.; MA, Y.; YANG, R.; SUN, J. Performance analysis of China's regional circular economy from the perspective of circular structure. **Journal of Cleaner Production**, v. 297, p. 126644, 2021.

CHEN, F.; YAO, W. Evaluation of Circular Economy Efficiency in Eastern China. **IOP Conference Series. Earth and Environmental Science**, v. 453, n. 1, p. 012030, 2020.

CHEN, H.; YANG, Y.; YANG, M.; ZOU, W. The impact of environmental regulation on China's industrial green development and its heterogeneity. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 10, p. 967550, 2022.

CHEN, L.; LAI, F.; WANG, Y.-M.; HUANG, Y.; WU, F.-M. A two-stage network data envelopment analysis approach for measuring and decomposing environmental efficiency. **Computers & Industrial Engineering**, v. 119, p. 388-403, 2018.

- CHEN, Y.; LIU, L. Improving eco-efficiency in coal mining area for sustainability development: An emerge and super-efficiency SBM-DEA with undesirable output. **Journal of Cleaner Production**, v. 339, p. 130701, 2022.
- CHOI, Y. Potential reduction of CO₂ emissions in G20 countries: The production-efficiency approach. **Actual Problems of Economics**, v. 144, n. 6, p. 531–538, 2013.
- COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J.; BATTESE, G. E. **An Introduction to efficiency and productivity analysis**. Berlin: Springer, 2005. 296f.
- COMPAGNONI, M. Is Extended Producer Responsibility living up to expectations? A systematic literature review focusing on electronic waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 367, p. 133101, 2022.
- COOK, W. D.; TONE, K.; ZHU, J. Data envelopment analysis: Prior to choosing a model. **Omega**, v. 44, p. 1–4, 2014.
- COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software**. Springer, 2007.492f.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, D. G. Poderia a crise pandêmica por COVID-19 estimular práticas de economia circular? Uma breve reflexão / Could the COVID-19 pandemic crisis stimulate circular economy practices? A brief reflection. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 2, p. 3820–3832, 2020.
- DANTAS, T. E. T.; DE-SOUZA, E. D.; DESTRO, I. R.; et al. How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 213–227, 2021.
- DICKENS, C.; MCCARTNEY, M.; TICKNER, D.; et al. Evaluating the global state of ecosystems and natural resources: within and beyond the SDGs. **Sustainability**, v. 12, n. 18, p. 7381, 2020.
- DING, L.-L.; LEI, L.; WANG, L.; ZHANG, L.-F. Assessing industrial circular economy performance and its dynamic evolution: An extended Malmquist index based on cooperative game network DEA. **Science of the Total Environment**, v. 731, p. 139001, 2020.
- DOBBS, R.; OPPENHEIM, J.; THOMPSON, F.; BRINKMAN, M.; ZORNES, M. **Resource Revolution: Meeting the world's energy, materials, food, and water needs**, 2011. MGI. 424f.
- DYCKHOFF, H.; SOUREN, R. **Data Envelopment Methodology of Performance Evaluation**. **Springer Briefs in Business**. p.47–82, 2020.
- EFSTRATIADIS, V. S.; MICHAELIDIS, N. Sustainable Recovery, Recycle of Critical Metals and Rare Earth Elements from Waste Electric and Electronic Equipment (Circuits, Solar, Wind) and Their Reusability in Additive Manufacturing Applications: A Review. **Metals**, v. 12, n. 5, p. 794, 2022.
- ELKINGTON, J. **Sustentabilidade: Canibais com garfo e faca**. M.Books, 2020. 488f.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The Covid-19 recovery requires a resilient circular economy**. 2020. Disponível em: <<https://ellenmacarthurfoundation.org/articles/the-covid-19-recovery-requires-a-resilient-circular-economy>>. Acesso em: ago. 2022.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Economia Circular**. 2022. Disponível em: <<https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular/conceito>>. Acesso em: fev. 2022.

ENVIRONMENTAL PERFORMANCE INDEX - EPI YALE. **Welcome Environmental Performance Index**. 2022. Disponível em: <<https://epi.yale.edu/>>. Acesso em: out. 2022.

EUROPEAN COMMISSION. **Farm to Fork Strategy**. 2023. Disponível em: <https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en>. Acesso em: jan. 2023.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY - EEA. **Circular economy in Europe - Developing the knowledge base**. 2023. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe>>. Acesso em: mar. 2023.

FADEEVA, Z.; VAN BERKEL, R. Unlocking circular economy for prevention of marine plastic pollution: An exploration of G20 policy and initiatives. **Journal of Environmental Management**, v. 277, p. 111457, 2021.

FANG, H.-H.; LEE, H.-S.; HWANG, S.-N.; CHUNG, C.-C. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis: An alternative approach. **Omega**, v. 41, n. 4, p. 731–734, 2013.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. Malmquist Productivity Indexes and Fisher Ideal Indexes. **The Economic Journal**, v. 102, n. 410, p. 158–160, 1992.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; NORRIS, M.; ZHANG, Z. Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries. **The American Economic Review**, v. 84, n. 1, p. 66–83, 1994.

FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)**, v. 120, n. 3, p. 253–281, 1957.

FENG, H. The Impact of Renewable Energy on Carbon Neutrality for the Sustainable Environment: Role of Green Finance and Technology Innovations. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, p. 924857, 2022.

FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. Editora UFV, Viçosa, MG, 2009. 392f.

FIVET, C. Steel, a material to reuse. **Stahlbau**, v. 91, n. 4, p. 268–273, 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **FAOSTAT**. 2023. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: jan. 2023.

GALVE, J. E.; ELDUQUE, D.; PINA, C.; JAVIERRE, C. Life Cycle Assessment of a Plastic Part Injected with Recycled Polypropylene: A Comparison with Alternative Virgin Materials. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology**, v. 9, n. 3, p. 919–932, 2022.

GAO, G.; WANG, K.; ZHANG, C.; WEI, Y.-M. Synergistic effects of environmental regulations on carbon productivity growth in China's major industrial sectors. **Natural Hazards**, v. 95, n. 1, p. 55–72, 2019.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, Towards Post Fossil Carbon Societies: Regenerative and Preventative Eco-Industrial Development., v. 114, p. 11–32, 2016.

GIANNAKITSIDOU, O.; GIANNIKOS, I.; CHONDROU, A. Ranking European countries on the basis of their environmental and circular economy performance: A DEA application in MSW. **Waste Management**, v. 109, p. 181–191, 2020.

GREENE, W. **Econometric Analysis**, 8 ed. 2019. 1126f.

GUO, H.; XIE, Z.; WU, R. Evaluating Green Innovation Efficiency and Its Socioeconomic Factors Using a Slack-Based Measure with Environmental Undesirable Outputs. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 24, p. 12880, 2021.

GUO, Y.; TONG, L.; MEI, L. Spatiotemporal characteristics and influencing factors of agricultural eco-efficiency in Jilin agricultural production zone from a low carbon perspective. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 20, p. 29854–29869, 2022.

HADER, J. D.; LANE, T.; BOXALL, A. B. A.; MACLEOD, M.; DI GUARDO, A. Enabling forecasts of environmental exposure to chemicals in European agriculture under global change. **Science of the Total Environment**, v. 840, p. 156478, 2022.

HALKOS, G.; PETROU, K. N. Assessing 28 EU member states' environmental efficiency in national waste generation with DEA. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 509-521, 2019.

HAN, Y. Promoting green economy efficiency through fiscal decentralization and environmental regulation. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 5, p. 11675-11688, 2023.

HARRIS, S.; MARTIN, M.; DIENER, D. Circularity for circularity's sake? Scoping review of assessment methods for environmental performance in the circular economy. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 172–186, 2021.

HE, G. Benchmarking low-carbon management performance: An empirical study of G20 countries. **Actual Problems of Economics**, v. 137, p. 484–492, 2012.

HIRJI, R.; DAVIS, R. **Environmental flows in water resources policies, plans, and projects: findings and recommendations**. World Bank Publications, 2009. 181f.

- HOANG, A. T.; VARBANOV, P. S.; NIŽETIĆ, S.; et al. Perspective review on Municipal Solid Waste-to-energy route: Characteristics, management strategy, and role in circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 359, p. 131897, 2022.
- HUANG, H.; MO, R.; CHEN, X. New patterns in China's regional green development: An interval Malmquist–Luenberger productivity analysis. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 58, p. 161–173, 2021.
- IBN-MOHAMMED, T.; MUSTAPHA, K. B.; GODSELL, J.; et al. A critical analysis of the impacts of COVID-19 on the global economy and ecosystems and opportunities for circular economy strategies. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 164, p. 105169, 2021.
- IBRAHIM, M.; ALOLA, A.; FERREIRA, D. A two-stage data envelopment analysis efficiency of social-ecological systems: Inference from the sub-Saharan African countries. **Ecological Indicators**, v. 123, p. 107381, 2021.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Electricity - Fuels & Technologies**. 2022a. Disponível em: <<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity>>. Acesso em: dez. 2022.
- _____. **Greenhouse Gas Emissions from Energy Data Explorer – Data Tools**. 2022. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer>>. 2022b. Acesso em: dez. 2022.
- JALALI SEPEHR, M.; HAERI, A.; GHOSI, R. A cross-country evaluation of energy efficiency from the sustainable development perspective. **International Journal of Energy Sector Management**, v. 13, n. 4, p. 991–1019, 2019.
- JAMES, A.; YADAV, D. Bioaerogels, the emerging technology for wastewater treatment: A comprehensive review on synthesis, properties and applications. **Environmental Research**, v. 212, p. 113222, 2022.
- JIA, C.; DAS, P.; KIM, I.; et al. Applications, treatments, and reuse of plastics from electrical and electronic equipment. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 110, p. 84–99, 2022.
- JIALU, S.; ZHIQIANG, M.; MINGXING, L.; AGYEMAN, F. O.; YUE, Z. Efficiency Evaluation and Influencing Factors of Government Financial Expenditure on Environmental Protection: An SBM Super-efficiency Model Based on Undesired Outputs Ocena efektywności i czynniki wpływające na rządowe wydatki finansowe na ochronę środowiska: model. **Problemy Ekorozwoju**, v. 17, n. 1, p. 140–150, 2022.
- JIAO, L.; WU, F.; LUO, F.; ZHANG, Y.; HUO, X. Energy and Environmental Efficiency Evaluation of Transportation Systems in China's 255 Cities. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, p. 950562, 2022.
- KASTANAKI, E.; GIANNIS, A. Energy decarbonisation in the European Union: Assessment of photovoltaic waste recycling potential. **Renewable Energy**, v. 192, p. 1–13, 2022.
- KAZMIER, L. J. **Estatística Aplicada à Economia e Administração**. 1 ed. São Paulo: Pearson, 1982. 388f.

KHAN, K.; SU, C. W.; REHMAN, A. U.; ULLAH, R. Is technological innovation a driver of renewable energy? **Technology in Society**, v. 70, p. 102044, 2022.

KHANNA, M.; RAJAGOPAL, D.; ZILBERMAN, D. Lessons learned from US experience with biofuels: Comparing the hype with the evidence. **Review of Environmental Economics and Policy**, v. 15, n. 1, p. 67–86, 2021.

KIANI MAVI, R.; KIANI MAVI, N.; FARZIPOOR SAEN, R.; GOH, M. Eco-innovation analysis of OECD countries with common weight analysis in data envelopment analysis. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 27, n. 2, p. 162-181, 2022.

KIRTON, J.; WARREN, B. From Silos to Synergies: G20 Governance of the SDGs, Climate Change & Digitalization. **International Organisations Research Journal**, v. 16, n. 2, p. 20–54, 2021.

KLERK, S.; GHAFARIYAN, M. R.; MILES, M. Leveraging the Entrepreneurial Method as a Tool for the Circular Economy: The Case of Wood Waste. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 3, p. 1559, 2022.

KLOKE-LESCH, A. The G20 and the Sustainable Development Goals (SDGs): Reflections on future roles and tasks. **Chongyang Institute for Financial Studies (ed.), G20 and global governance: blue book of G20 Think Tank**, v. 2016, p. 55–71, 2015.

KOÇAK, E.; KINACI, H.; SHEHZAD, K. Environmental efficiency of disaggregated energy R&D expenditures in OECD: a bootstrap DEA approach. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 28, n. 15, p. 19381–19390, 2021.

KOOPMANS, T. C. **Analysis of production as an efficient combination of activities**. Activity analysis of production and allocation, TC Koopmans, editor, Wiley, New York, 1951. 65f.

KOYTSOUMPA, E. I.; MAGIRI – SKOULOUDI, D.; KARELLAS, S.; KAKARAS, E. Bioenergy with carbon capture and utilization: A review on the potential deployment towards a European circular bioeconomy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 152, p. 111641, 2021.

KRIŠŤÁKOVÁ, S.; NEYKOV, N.; ANTOV, P.; et al. Efficiency of wood-processing enterprises—evaluation based on DEA and MPI: A comparison between Slovakia and Bulgaria for the period 2014–2018. **Forests**, v. 12, n. 8, p. 1026, 2021.

KROMOSER, B.; REICHENBACH, S.; HELLMAYR, R.; MYNA, R.; WIMMER, R. Circular economy in wood construction – Additive manufacturing of fully recyclable walls made from renewables: Proof of concept and preliminary data. **Construction and Building Materials**, v. 344, p. 128219, 2022.

KUNDU, D.; DUTTA, D.; SAMANTA, P.; et al. Valorization of wastewater: A paradigm shift towards circular bioeconomy and sustainability. **Science of the Total Environment**, v. 848, p. 157709, 2022.

LACKO, R.; HAJDUOVÁ, Z.; ZAWADA, M. The Efficiency of Circular Economies: A Comparison of Visegrád Group Countries. **Energies**, v. 14, n. 6, p. 1680, 2021.

LAHOUEL, B. B. Eco-efficiency analysis of French firms: a data envelopment analysis approach. **Environmental Economics and Policy Studies**, v. 18, n. 3, p. 395–416, 2016.

LEONARD, A. **A história das coisas: da natureza ao lixo, o que acontece com tudo que consumimos**. Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2011. 304f.

LI, D.; WANG, M.-Q.; LEE, C. The waste treatment and recycling efficiency of industrial waste processing based on two-stage data envelopment analysis DEA with undesirable inputs. **Journal of Cleaner Production**, v. 242, p. 118279, 2020.

LI, G.; LUO, T.; SONG, Y. Climate change mitigation efficiency of electric vehicle charging infrastructure in China: From the perspective of energy transition and circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 179, p. 106048, 2022.

LI, Z.; CROOK, J.; ANDREEVA, G. Dynamic prediction of financial distress using Malmquist DEA. **Expert Systems with Applications**, v. 80, p. 94–106, 2017.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 115, p. 36–51, 2016.

LIMA, M. C. C.; PONTES, L. P.; VASCONCELOS, A. S. M.; DE ARAUJO SILVA JUNIOR, W.; WU, K. Economic Aspects for Recycling of Used Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles. **Energies**, v. 15, n. 6, p. 2203, 2022.

LIU, J.; WEI, D.; TIAN, Y.; LI, Q. Evolution and policy effect assessment for the spatial heterogeneity pattern of regional energy efficiency in China. **Energy Efficiency**, v. 14, n. 8, p. 1-16, 2021.

LIU, W. B.; MENG, W.; LI, X. X.; ZHANG, D. Q. DEA models with undesirable inputs and outputs. **Annals of Operations Research**, v. 173, n. 1, p. 177–194, 2010.

LIU, W.; ZHOU, Z.; MA, C.; LIU, D.; SHEN, W. Two-stage DEA models with undesirable input-intermediate-outputs. **Omega**, v. 56, p. 74–87, 2015.

LIU, X.; GUO, P.; GUO, S. Assessing the eco-efficiency of a circular economy system in China's coal mining areas: Energy and data envelopment analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 206, p. 1101–1109, 2019.

LIU, Z.; XU, J.; WEI, Y.; HATAB, A. A.; LAN, J. Nexus between green financing, renewable energy generation, and energy efficiency: empirical insights through DEA technique. **Environmental Science and Pollution Research International**, p. 1-14, 2021.

LOMBARDI, G. V.; GASTALDI, M.; RAPPOSELLI, A.; ROMANO, G. Assessing efficiency of urban waste services and the role of tariff in a circular economy perspective: An empirical application for Italian municipalities. **Journal of Cleaner Production**, v. 323, p. 129097, 2021.

- LU, C.; ZHANG, Y.; LI, H.; et al. An Integrated Measurement of the Efficiency of China's Industrial Circular Economy and Associated Influencing Factors. **Mathematics**, v. 8, n. 9, p. 1610, 2020.
- LU, L. C.; CHIU, S.-Y.; CHIU, Y.; CHANG, T.-H. Three-stage circular efficiency evaluation of agricultural food production, food consumption, and food waste recycling in EU countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 343, p. 130870, 2022.
- LU, W.; ZHANG, G. Green development efficiency of urban agglomerations in a developing country: evidence from Beijing-Tianjin-Hebei in China. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1–24, 2022.
- LUBONGO, C.; ALEXANDRIDIS, P. Assessment of Performance and Challenges in Use of Commercial Automated Sorting Technology for Plastic Waste. **Recycling**, v. 7, n. 2, 2022.
- LUO, S.; ZHANG, S. How R&D expenditure intermediate as a new determinants for low carbon energy transition in Belt and Road Initiative economies. **Renewable Energy**, v. 197, p. 101–109, 2022.
- MA, D.; HE, F.; LI, G.; DENG, G. Does haze pollution affect public health in China from the perspective of environmental efficiency? **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 11, p. 16343–16357, 2021.
- MA, L.-H.; HSIEH, J.-C.; CHIU, Y.-H. Comparing regional differences in global energy performance. **Energy & Environment**, v. 31, n. 6, p. 943–960, 2020.
- MAHLER, D. G.; LAKNER, C.; AGUILAR, R. A. C.; WU, H. The impact of COVID-19 (Coronavirus) on global poverty: Why Sub-Saharan Africa might be the region hardest hit. **World Bank Blogs**, v. 20, 2020.
- MAHYARI, K. F.; SUN, Q.; KLEMES, J. J.; et al. To what extent do waste management strategies need adaptation to post-COVID-19? **Science of the Total Environment**, v. 837, p. 155829, 2022.
- MALMQUIST, S. Index numbers and indifference surfaces. **Trabajos de Estadística**, v. 4, n. 2, p. 209–242, 1953.
- MAPHOSA, M.; MAPHOSA, V. A bibliometric analysis of the effects of electronic waste on the environment. **Global Journal of Environmental Science and Management**, v. 8, n. 4, p. 589–606, 2022.
- MARCZAK, D.; LEJCUŚ, K.; KULCZYCKI, G.; MISIEWICZ, J. Towards circular economy: Sustainable soil additives from natural waste fibres to improve water retention and soil fertility. **Science of the Total Environment**, v. 844, p. 157169, 2022.
- MARIANO, E. B.; ALMEIDA, M. R.; DO NASCIMENTO REBELATTO, D. A. Eficiência pela técnica dos números índices: uma aplicação em aeroportos. **Anais...** Bauru, SP. 2009.
- MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. A. DO N. Transformation of wealth produced into quality of life: analysis of the social efficiency of nation-states with the DEA's triple index approach. **Journal of the Operational Research Society**, v. 65, n. 11, p. 1664–1681, 2014.

MATTOS NASCIMENTO, D. L.; MURY NEPOMUCENO, R.; CAIADO, R. G. G.; et al. A sustainable circular 3D printing model for recycling metal scrap in the automotive industry. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 33, n. 5, p. 876–892, 2022.

MAVI, N. K.; MAVI, R. K. Energy and environmental efficiency of OECD countries in the context of the circular economy: Common weight analysis for Malmquist Productivity Index. **Journal of Environmental Management**, v. 247, p. 651–661, 2019.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT - MEA. Ecosystems and human well-being: Synthesis. Millennium ecosystem assessment. **World Health**, v. 1134, p. 25–60, 2005.

MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J.; BEHRENS III, W. W. **Limits to Growth**. Signet, 1972. 221f.

MEKONNEN, M.; HOEKSTRA, A. Y. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Volume 2: Appendices. 2010. 50f.

MERINO-SAUM, A.; BALDI, M. G.; GUNDERSON, I.; OBERLE, B. Articulating natural resources and sustainable development goals through green economy indicators: A systematic analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 139, p. 90–103, 2018.

MERLI, R.; PREZIOSI, M.; ACAMPORA, A. How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 703–722, 2018.

MORALLES, H. F.; DO NASCIMENTO REBELATTO, D. A. The effects and time lags of R&D spillovers in Brazil. **Technology in Society**, v. 47, p. 148–155, 2016.

MORIGUCHI, Y. Material flow indicators to measure progress toward a sound material-cycle society. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 9, n. 2, p. 112–120, 2007.

MOSHOOD, T. D.; NAWANIR, G.; MAHMUD, F.; et al. Green product innovation: A means towards achieving global sustainable product within biodegradable plastic industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 363, p. 132506, 2022.

MOUTINHO, V.; MADALENO, M. A Two-Stage DEA Model to Evaluate the Technical Eco-Efficiency Indicator in the EU Countries. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 6, p. 3038, 2021.

NAIDOO, R.; FISHER, B. Reset sustainable development goals for a pandemic world. **Nature Publishing Group**, v. 583, n. 7815, p. 198–201, 2020.

NEUMANN, J.; PETRANIKOVA, M.; MEEUS, M.; et al. Recycling of Lithium-Ion Batteries—Current State of the Art, Circular Economy, and Next Generation Recycling. **Advanced Energy Materials**, v. 12, n. 17, p. 2102917, 2022.

NGOBENI, V.; BREITENBACH, M. C. Production and scale efficiency of South African water utilities: the case of water boards. **Water Policy**, v. 23, n. 4, p. 862–879, 2021.

NGUYEN, M. D.; THOMAS, M.; SURAPANENI, A.; MOON, E. M.; MILNE, N. A. Beneficial reuse of water treatment sludge in the context of circular economy. **Environmental Technology and Innovation**, v. 28, p. 102651, 2022.

NUNAMAKER, T. R. Using data envelopment analysis to measure the efficiency of non-profit organizations: A critical evaluation. **Managerial and decision Economics**, v. 6, n. 1, p. 50–58, 1985.

NYAMBUU, U.; SEMMLER, W. Climate change and the transition to a low carbon economy – Carbon targets and the carbon budget. **Economic Modelling**, v. 84, p. 367–376, 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **2030 Agenda for Sustainable Development**. 2015. 35f.

_____. **Millennium Declaration**. 2000. 9f.

_____. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. 1987. 223f.

_____. **Sustainable Development Report 2023**. Sustainable Development Report 2023. Disponível em: <<https://dashboards.sdindex.org/>>. Acesso em: mar. 2023.

_____. **The Sustainable Development Goals Report 2021**. 2021. Disponível em: <<https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2021/secretary-general-sdg-report-2021--ES.pdf>>. Acesso em: fev. 2022.

_____. **World Population Prospects 2022**. 2022. Disponível em: <<https://reliefweb.int/report/world/world-population-prospects-2022-summary-results>>. Acesso em: ago. 2022.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO - OCDE. **Energy - Renewable energy - OECD Data**. 2022. Disponível em: <<http://data.oecd.org/energy/renewable-energy.htm>>. Acesso em: dez. 2022.

PAN, X.; WONG, C. W. Y.; LI, C. Circular economy practices in the waste electrical and electronic equipment (WEEE) industry: A systematic review and future research agendas. **Journal of Cleaner Production**, v. 365, p. 132671, 2022.

PARAMATI, S. R.; MO, D.; GUPTA, R. The effects of stock market growth and renewable energy use on CO2 emissions: Evidence from G20 countries. **Energy Economics**, v. 66, p. 360–371, 2017.

PAUNOVIĆ, P.; GROZDANOV, A. Circular Economy Applied to Metallurgical Waste: Use of Slags and Fly Ash from the Ferronickel Industry in the Production of Eco-Friendly Composites. **Journal of Sustainable Metallurgy**, v. 8, n. 2, p. 815–824, 2022.

PICCARDO, C.; HUGHES, M. Design strategies to increase the reuse of wood materials in buildings: Lessons from architectural practice. **Journal of Cleaner Production**, v. 368, p. 133083, 2022.

PIISPANEN, V.-V.; SUOKAS, S.-T.; HENTTONEN, K.; LEHTIMÄKI, H. Sustainable Circular Economy in the Wood Construction Industry: A Business Opportunity Perspective. **South Asian Journal of Business and Management Cases**, v. 11, n. 1, p. 27–34, 2022.

PU, W.; ZHANG, A.; WEN, L. Can China's Resource-Saving and Environmentally Friendly Society Really Improve the Efficiency of Industrial Land Use? **Land**, v. 10, n. 7, p. 751, 2021.

RAMPRASAD, C.; GWENZI, W.; CHAUKURA, N.; et al. Strategies and options for the sustainable recovery of rare earth elements from electrical and electronic waste. **Chemical Engineering Journal**, v. 442, p. 135992, 2022.

RAYNE, S.; FOREST, K. The decline of global per capita renewable internal freshwater resources. **Sask: Saskatchewan Institute of Applied Sciences**, 2013.

RODRIGUEZ-ANTON, J. M.; RUBIO-ANDRADA, L.; CELEMÍN-PEDROCHE, M. S.; ALONSO-ALMEIDA, M. D. M. Analysis of the relations between circular economy and sustainable development goals. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 26, n. 8, p. 708–720, 2019.

ROHDE, R. **Global Temperature Report for 2020**. Berkley Earth: Los Angeles, CA, USA. 2021. Disponível em: <http://berkeleyearth.org/global-temperature-report-for-2020>. Acesso em: dez. 2022.

ROSENBOOM, J.-G.; LANGER, R.; TRAVERSO, G. Bioplastics for a circular economy. **Nature Reviews Materials**, v. 7, n. 2, p. 117–137, 2022.

ROSSETTO, R.; RAMOS, N. P.; DE MATOS PIRES, R. C.; et al. Sustainability in Sugarcane Supply Chain in Brazil: Issues and Way Forward. **Sugar Tech**, v. 24, n. 3, p. 941–966, 2022.

ROY, A.; BASU, A.; DONG, X. Achieving Socioeconomic Development Fuelled by Globalization: An Analysis of 146 Countries. **Sustainability**, v. 13, n. 9, p. 4913, 2021. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.

RUSYDIANA, A. S.; LAILA, N.; TUBASTUVI, N.; IBRAHIM, M. A.; MARLINA, L. Energy Efficiency in OIC Countries: SDG 7 Output. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 11, n. 1, p. 74–81, 2021.

SACHS, J. D. **O fim da pobreza**. Editora Companhia das Letras, 2005.472f.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 11, p. 83–89, 2007.

SÁNCHEZ-ORTIZ, J.; RODRÍGUEZ-CORNEJO, V.; DEL RÍO-SÁNCHEZ, R.; GARCÍA-VALDERRAMA, T. Indicators to Measure Efficiency in Circular Economies. **Sustainability**, v. 12, n. 11, p. 4483, 2020.

SAPUTRA, R.; KHALID, M.; WALVEKAR, R.; PARIATAMBY, A. Chapter 15 - Circular carbon economy. In: M. Khalid; S. A. Dharaskar; M. Sillanpää; H. Siddiqui (Orgs.); **Emerging Carbon Capture Technologies**. p.427–462, 2022. 500f.

SAYER, J.; SHEIL, D.; GALLOWAY, G.; et al. SDG 15 Life on land—the central role of forests in sustainable development. **Sustainable development goals: their impacts on forest and people**. Cambridge University Press, p.482–509, 2019. 644f.

SCHROEDER, P.; ANGGRAENI, K.; WEBER, U. The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 77–95, 2019.

SGROI, F. The circular economy for resilience of the agricultural landscape and promotion of the sustainable agriculture and food systems. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 8, p. 100307, 2022.

SHULLA, K.; VOIGT, B.-F.; CIBIAN, S.; et al. Effects of COVID-19 on the sustainable development goals (SDGs). **Discover Sustainability**, v. 2, n. 1, p. 1–19, 2021.

STAHEL, W. Product-life Factor. An Inquiry into the Nature of Sustainable Societies. **Product-life Factor. An Inquiry into the Nature of Sustainable Societies**. 1982. 28f.

STEINER, A. A Critical Moment. 2020. Saudi Arabia 2020: The Riyadh Summit.

SU, Q.; CHEN, K. Constructing a Water-Energy-Food Efficiency Coupling Model from the Perspective of Land Use. **Proceedings of the 2nd International Conference on Green Energy, Environment and Sustainable Development (GEESD2021)**, p. 320–324, 2021.

SUN, M.; WINTER, L.; QIN, M.; LUO, J. Valuable resources in water: Why and how to recover? **Resources, Conservation and Recycling Advances**, v. 15, p. 200089, 2022.

SZÉP, T.; PÁLVÖLGYI, T.; KÁRMÁN-TAMUS, É. Indicator-based assessment of sustainable energy performance in the European Union. **International Journal of Sustainable Energy Planning and Management**, v. 34, p. 107–124, 2022.

THOMAS, J. R.; NELSON, J. K.; SILVERMAN, S. J. **Métodos de Pesquisa Em Atividade Física**. 6 ed. Artmed Editora. 2009. 478f.

TITTENSOR, D. P.; WALPOLE, M.; HILL, S. L.; et al. A mid-term analysis of progress toward international biodiversity targets. **Science**, v. 346, n. 6206, p. 241–244, 2014.

TONE, K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 130, n. 3, p. 498–509, 2001.

TONE, K.; TSUTSUI, M. Malmquist Productivity Index Models. **Advances in DEA Theory and Applications**, p. 40-56, 2017.

- TOURINHO, M.; BARBOSA, F.; SANTOS, P. R.; PINTO, F. T.; CAMANHO, A. S. Productivity change in Brazilian water services: A benchmarking study of national and regional trends. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 86, p. 101491, 2022.
- UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION - UN STATS. **SDG Indicators**. 2022. Disponível em: <<https://unstats.un.org/sdgs/dataContacts/>>. Acesso em: out. 2022.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC. **The Paris Agreement**. 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement?gclid=CjwKCAiAqaWdBhAvEiwAGAQLtrY33QspIIQBNNolp7qTVPn5ix9dEVcz9CnXYbRAxSzxVux2iV2t1BoChUEQAvD_BwE>. Acesso em: dez. 2022.
- VAN SONG, N.; PHUONG, N. T. M.; OANH, T. T. K.; et al. Does tradeoff between financial and social indicators matters in environmental consideration: evidence from G7 region. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 28, n. 16, p. 19911–19925, 2021.
- VANHAM, D.; HOEKSTRA, A. Y.; WADA, Y.; et al. Physical water scarcity metrics for monitoring progress towards SDG target 6.4: An evaluation of indicator 6.4. 2 “Level of water stress”. **Science of the total environment**, v. 613, p. 218–232, 2018.
- VON BRAUN, J.; GULATI, A.; KHARAS, H. Key policy actions for sustainable land and water use to serve people. **Economics**, v. 11, n. 1, 2017.
- WANG, G.; QIAN, Z.; DENG, X. Analysis of Environmental Policy and the Performance of Sustainable Agricultural Development in China. **Sustainability**, v. 12, n. 24, p. 10453, 2020.
- WANG, H.; CUI, H.; ZHAO, Q. Effect of green technology innovation on green total factor productivity in China: Evidence from spatial durbin model analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 288, p. 125624, 2021.
- WANG, J.; CHEN, T.; WANG, T.; ZHANG, W. Research on Chinese regional environmental management efficiency based on DEA and malmquist index. **Applied Mechanics and Materials**, v. 138–139, p. 1239–1245, 2012.
- WANG, Q.; HUANG, Q.; WANG, J.; et al. Ecological circular agriculture: A case study evaluating biogas slurry applied to rice in two soils. **Chemosphere**, v. 301, p. 134628, 2022.
- WANG, S.; LEI, L.; XING, L. Urban circular economy performance evaluation: A novel fully fuzzy data envelopment analysis with large datasets. **Journal of Cleaner Production**, v. 324, p. 129214, 2021.
- WANG, X.; SHAO, Q.; NATHWANI, J.; ZHOU, Q. Measuring wellbeing performance of carbon emissions using hybrid measure and meta-frontier techniques: Empirical tests for G20 countries and implications for China. **Journal of Cleaner Production**, v. 237, p. 117758, 2019.

- WANG, Z.; HAO, H.; GAO, F.; et al. Multi-attribute decision making on reverse logistics based on DEA-TOPSIS: A study of the Shanghai End-of-life vehicles industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 730–737, 2019.
- WEETMAN, C. **Economia Circular: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa**. Autêntica Business, 2019. 512f.
- WEGGE, S. **Creating resilient supply chains after COVID-19 with circular economy**. Business & Industry. 2020. 496f.
- WOOLDRIDGE, J. M. **Introductory Econometrics : A Modern Approach**. 2019. 816f.
- WORLD BANK. **DataBank | The World Bank**. 2022a. Disponível em: <<https://databank.worldbank.org/home.aspx>>. Acesso em: ago. 2022.
- _____. **Perspectivas Econômicas Globais**. 2022b. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/pt/publication/global-economic-prospects>>. Acesso em: ago. 2022.
- _____. **World Development Report 2022: Finance for an Equitable Recovery**. The World Bank, 2022c.
- WU, C.; LI, Y.; QI, L. Assessing the Impact of Green Transformation on Ecological Well-Being Performance: A Case Study of 78 Cities in Western China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 18, p. 11200, 2022.
- XU, M.; YANG, M.; SUN, H.; et al. Bioconversion of biowaste into renewable energy and resources: A sustainable strategy. **Environmental Research**, v. 214, p. 113929, 2022.
- YUAN, Z.; BI, J.; MORIGUICHI, Y. The Circular Economy: A New Development Strategy in China. **Journal of Industrial Ecology**, v. 10, n. 1–2, p. 4–8, 2006.
- ZAFAR, S. Z.; ZHILIN, Q.; MALIK, H.; et al. Spatial spillover effects of technological innovation on total factor energy efficiency: taking government environment regulations into account for three continents. **Business Process Management Journal**, v. 27, n. 6, p. 1874–1891, 2021.
- ZAKARI, A.; KHAN, I.; TAN, D.; ALVARADO, R.; DAGAR, V. Energy efficiency and sustainable development goals (SDGs). **Energy**, v. 239, p. 122365, 2022.
- ZALLES, V.; HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V.; et al. Near doubling of Brazil's intensive row crop area since 2000. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 116, n. 2, p. 428–435, 2019.
- ZHANG, C.; DONG, H.; GENG, Y.; et al. Carbon neutrality prediction of municipal solid waste treatment sector under the shared socioeconomic pathways. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 186, p. 106528, 2022.
- ZHANG, M.; REN, F.; SHI, Y.; CHEN, H.; TIAN, Z. CO₂, Environmental Emergencies, and Industrial Pollution Assessment in China from the Perspective of the Circular Economy. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, 2022.

ZHAO, Y.; MORITA, H.; MARUYAMA, Y. The measurement of productive performance with consideration for allocative efficiency. **Omega**, v. 89, p. 21–39, 2019.

ZHU, B.; ZHANG, T. The impact of cross-region industrial structure optimization on economy, carbon emissions and energy consumption: A case of the Yangtze River Delta. **Science of The Total Environment**, v. 778, p. 146089, 2021.

ZIEGLER, R. Can Justice Respect Needs and Nature? The Idea of a Nature-Respecting Sufficiency. **Sustainable Life on Land**, p. 77, 2022.

APÊNDICE

Quadro 10. Principais características dos trabalhos selecionados para o filtro: *Sustainable Development Goals x Data Envelopment Analysis* (continua)

Autores	Local	ODS	Objetivo	Modelo DEA	Variáveis	Classificação
Chen et al. (2018)	30 províncias da China	6°	Avaliar a eficiência ambiental do desenvolvimento econômico do sistema industrial de água chinês em dois estágios.	DEA-CRS orientado ao <i>input</i>	<i>Inputs</i> : trabalho, capital e energia – número de pessoas empregadas na indústria, investimento industrial total em ativos fixo, energia total consumida na indústria (estágio A), resíduos de águas industriais tratados, despesas anuais de instalações de tratamento de resíduos de águas industriais e investimento realizado no tratamento de resíduos de águas industriais (estágio B); <i>Outputs</i> : PIB e resíduos de águas industriais tratados (estágio A); volume total de demanda química de oxigênio descarregada pela indústria (estágio B).	Transversal (2015)
Gao et al. (2019)	30 províncias da China	12°	Explorar o efeito sinérgico da regulamentação ambiental e o crescimento da produtividade de carbono a partir de uma perspectiva de nível meso.	DEA-based <i>Russel measure</i> e MPI	<i>Inputs</i> : capital, trabalho e energia <i>Outputs</i> : Produção industrial, população, PIB <i>per capita</i>	Dados em painel (2004 a 2014)
Jalali Sepehr et al. (2019)	Mundo: 132 países	7°	Estimar a eficiência energética dos países de acordo com seu desempenho, categorizando as nações em grupos semelhantes.	DEA-CRS e VRS orientados ao <i>output</i> <i>K-Means clustering algorithm</i>	<i>Inputs</i> : PIB por unidade de uso de energia e consumo de energia renovável; <i>Outputs</i> : PIB e emissões de CO ₂ .	Dados em painel (2007 a 2014)
Wang et al. (2020)	31 províncias da China	12° 15°	Medir o desempenho ambiental agrícola da China de 2000 a 2016	DEA-SBM <i>Directional Distance Function</i> e MPI	<i>Inputs</i> : número de trabalhadores empregados no setor terciário, área de plantio, quantidade pura de fertilizante agrícola, uso de pesticidas, uso de filme agrícola e potência total de máquinas agrícolas <i>Outputs</i> : Valor total da produção da agricultura, silvicultura, pecuária e pesca e emissões de CO ₂ agrícola	Dados em painel (2000 a 2016)

Quadro 10. Principais características dos trabalhos selecionados para o filtro: *Sustainable Development Goals x Data Envelopment Analysis* (continuação)

Autores	Local	ODS	Objetivo	Modelo DEA	Variáveis	Classificação
Ma et al. (2020)	Mundo: 57 países	7º	Avaliar a eficiência energética de países das Américas, Europa e Ásia.	SBM - <i>Directional Distance Function Data Envelopment Analysis</i> (DDF-DEA)	<i>Inputs</i> : população, formação bruta de capital e consumo de energia de combustíveis fósseis; <i>Outputs</i> : energia renovável, PIB e emissões de CO ₂ .	Dados em painel (2010 a 2016)
Wang et al. (2021)	30 províncias da China	12º	Examinar os efeitos espaciais da inovação de tecnologia verde na produtividade total dos fatores verde em várias regiões da China	Análise de fronteira estocástica e MPI	<i>Inputs</i> : capital, trabalho, energia e dióxido de carbono <i>Outputs</i> : PIB	Dados em painel (2000 a 2016)
Huang et al. (2021)	31 províncias da China	12º	Avaliar a produtividade total de fatores verde na China de 2000 a 2018.	<i>Malmquist-Luenberger Productivity Index</i>	<i>Inputs</i> : emprego, estoque de capital e energia <i>Outputs</i> : PIB, emissões de dióxido de enxofre, descarga total de efluentes industriais e produção total de resíduos sólidos industriais	Dados em painel (2000 a 2018)
Rusydiana et al. (2021)	50 países da OIC ²⁵	7º	Medir a eficiência do acesso à energia com base nos indicadores do 7º ODS (Energia Limpa e Acessível)	DEA-VRS orientado ao <i>output</i> e MPI	<i>Inputs</i> : trabalho e capital; <i>Outputs</i> : acesso universal a serviços de energia, participação das energias renováveis em relação a matriz energética total e taxa global de melhoria da eficiência energética.	Dados em painel (2010 a 2017)

²⁵ Países da OIC utilizados no estudo Rusydiana et al. (2021): Albânia, Bahrein, Brunei, Egito, Irã, Iraque, Jordânia, Kuwait, Malásia, Marrocos, Omã, Catar, Arábia Saudita, Tunísia, Turquia, Turcomenistão, Emirados Árabes Unidos, Argélia, Azerbaijão, Cazaquistão, Tajiquistão, Guiné-Bissau, Camarões, Gabão, Uganda, Chade, Uzbequistão, Moçambique, Togo, Nigéria, Niger, Serra Leoa, Guiné, Quirguistão, Costa

Quadro 10. Principais características dos trabalhos selecionados para o filtro: *Sustainable Development Goals x Data Envelopment Analysis* (continuação)

Autores	Local	ODS	Objetivo	Modelo DEA	Variáveis	Classificação
Roy et al. (2021)	Mundo: 146 países	6°; 7°	Avaliar a eficiência dos países em converter seu nível de globalização para alcançar o desenvolvimento socioeconômico.	Correlação de <i>Spearman</i> DEA-VRS orientado ao <i>output</i> e MPI	<i>Inputs</i> : Índices de globalização KOF e GCI. <i>Outputs</i> : 10 dimensões: 1) <u>educação</u> - anos médios de estudo da população adulta; 2) <u>emprego</u> – percentual de pessoas empregadas em condições de emprego vulnerável; 3) <u>energia renovável</u> – percentual de consumo de energia renovável; 4) <u>alimentação</u> - quilocalorias <i>per capita</i> pessoa por dia; 5) <u>igualdade de gênero</u> – percentual de força de trabalho feminina; 6) <u>gastos em saúde</u> – percentual de gastos do governo em saúde; 7) <u>redes de comunicação</u> - número de celulares por 100 habitantes; 8) <u>justiça</u> - estado de direito; 9) <u>voz política</u> - índice de voz e responsabilidade e 10) <u>saneamento</u> – taxa de defecação ao céu aberto.	Dados em painel (2000 a 2017)
Mavi et al. (2021)	Países da OCDE ²⁶	7°	Avaliar a eficiência da eco inovação dos países da OCDE e acompanhar suas mudanças por meio do MPI	DEA-CRS orientado ao <i>input</i> DEA - <i>Common set of weights</i> (CSW) e MPI	<i>Inputs</i> : investimento em P&D, número de pesquisadores de P&D por mil de habitantes, fornecimento de energia e formação bruta de capital; <i>Outputs</i> : PIB, patentes sobre tecnologias ambientais, exportações de alta tecnologia e emissões de GEE.	Dados em painel (2010 a 2018)

²⁶ Países da OCDE utilizados no estudo de Roy et al. (2021): Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Colômbia, Chile, República Checa, Dinamarca, Estônia, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Islândia, Irlanda, Israel, Itália, Japão, Coreia do Sul, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, México, Países Baixos, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, Portugal, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia, Reino Unido, Estados Unidos.

Quadro 10. Principais características dos trabalhos selecionados para o filtro: *Sustainable Development Goals x Data Envelopment Analysis* (continuação)

Autores	Local	ODS	Objetivo	Modelo DEA	Variáveis	Classificação
Liu et al. (2021b)	Mundo: 28 países ²⁷	7º	Testar a relação do financiamento verde com a geração de eletricidade renovável e a eficiência energética.	DEA-VRS orientado ao <i>output</i>	<i>Inputs</i> : capital, trabalho e consumo de energia; <i>Outputs</i> : PIB e energia renovável.	Dados em painel (2016 a 2020)
Moutinho; Madaleno (2021)	27 países da UE	7º	Avaliar a evolução da ecoeficiência para os 27 países da UE no período 2008-2018, em relação ao crescimento econômico e desempenho ambiental.	DEA-CRS e VRS orientados ao <i>input</i> <i>Fractional Regression Model</i> (FRM)	<i>Inputs</i> : Formação bruta de capital fixo <i>per capita</i> , trabalho, consumo de energia e eletricidade; <i>Outputs</i> : PIB <i>per capita</i> e emissões de GEE.	Dados em painel (2008 a 2018)
Koçak et al. (2021)	26 países da OCDE ²⁸	7º	Investigar a eficiência ambiental dos gastos em P&D para eficiência energética em países da OCDE.	DEA-CRS e VRS <i>DEA bootstrap</i>	<i>Inputs</i> : P&D em eficiência energética, P&D em combustíveis fósseis, P&D em energia renovável, P&D em energia nuclear, P&D em outros tipos de energia; <i>Output</i> : emissões de CO ₂ .	Transversal (<i>inputs</i> – 2015 e <i>outputs</i> 2017)
Van Song et al. (2021)	G7 ²⁹	7º	Desenvolver um índice ecológico dos países do G7 por meio da DEA	<i>Super-Data Envelopment Analysis model</i>	<i>Variáveis selecionadas</i> : PIB, fornecimento de energia, energia renovável, eletricidade, efeitos da poluição, índice de preços ao consumidor, P&D, exportações, consumo de energia, custo do trabalho e investimento estrangeiro direto.	Dados em painel (2008 a 2018)
Ibrahim et al. (2021)	24 países da África ³⁰	6º, 7º, 12º, 15º	Estimar a eficiência de sistemas socioecológicos, por meio da DEA.	DEA-VRS orientado ao <i>input</i>	<i>Inputs</i> : captação interna de água, consumo de energia, terras agricultáveis, força de trabalho; <i>Outputs</i> : PIB, produção de alimentos e acesso a eletricidade.	Dados em painel (2000 a 2014)

²⁷ Países utilizados no estudo Liu et al. (2021b): Áustria, Azerbaijão, Bélgica, Chile, Finlândia, Alemanha, Dinamarca, Fiji, França, Gana, Hungria, Índia, Iraque, Suécia, Itália, Bulgária, Croácia, Jordânia, Malta, Mongólia, Vietnã, Omã, Paquistão, Rússia, Polônia, Romênia, Taiwan e Catar.

²⁸ Países da OCDE utilizados no estudo Koçak et al. (2021): Estados Unidos, Japão, Canadá, França, Alemanha, Itália, Estônia, Noruega, Austrália, Áustria, Países Baixos, Reino Unido, Polônia, Finlândia, Bélgica, Espanha, Turquia, Suíça, Dinamarca, Irlanda, República Checa, Suécia, Nova Zelândia, Portugal, Hungria e Eslováquia.

²⁹ Países utilizados no estudo de Van Song et al. (2021): Canadá, França, Alemanha, Japão, Estados Unidos, Reino Unido e Itália.

³⁰ Países utilizados no estudo Ibrahim et al. (2021): Angola, Benin, Botsuana, Camarões, República Democrática do Congo, República do Congo, Costa do Marfim, Eritreia, Etiópia, Gabão, Gana, Quênia, Maurício, Moçambique, Namíbia, Níger, Nigéria, Senegal, África do Sul, Sudão, Tanzânia, Togo, Zâmbia e Zimbábue.

Quadro 10. Principais características dos trabalhos selecionados para o filtro: *Sustainable Development Goals x Data Envelopment Analysis* (continuação)

Autores	Local		Objetivo	Modelo DEA	Variáveis	Classificação
Pu et al. (2021)	13 cidades da China	6°, 12°, 15°	Mensurar a eficiência e o uso do solo industrial	DEA-SBM	<i>Inputs</i> : terra (área industrial), capital (investimento industrial) e trabalho (emprego no setor industrial); <i>Outputs</i> : produção industrial, resíduos de águas industriais, dióxido de enxofre industrial e emissões industriais de fumaça e poeira.	Dados em painel (2003 a 2018)
Zhu e Zhang (2021)	China (Delta do Rio Yangtze)	7°, 12°	Investigar o efeito da otimização da estrutura da indústria inter-regional no desenvolvimento econômico, energético e emissões de CO ₂ .	<i>Super-efficiency data envelopment analysis</i> [Baseado em Aderson e Petersen (1993)]	<u>Variáveis selecionadas</u> : taxa de crescimento do PIB, emissões de CO ₂ , consumo de energia e proporção da indústria de serviços dos principais setores da indústria agricultura, silvicultura, pecuária, pesca, construção civil e transportes	Dados em painel (2017 a 2018)
Ngobeni e Breitenbach (2021)	África do Sul (9 estações de águas)	6°	Analisar os dados relacionados aos gastos de nove estações de água e mensurar a eficiência na produção dos volumes de água.	DEA-VRS orientado ao <i>input</i>	<i>Input</i> : investimentos para tratamento de água; <i>Outputs</i> : tarifas de água, volume de perdas de águas e volume de água vendido.	Dados em painel (2018 a 2019)
Zafar et al. (2021)	15 países da África, Ásia e Europa ³¹	7°	Explorar o fator de eficiência energética total e os efeitos de transbordamento, regulamentações governamentais e inovações tecnológicas.	DEA-CRS orientado ao <i>input</i> Econometria espacial	<i>Inputs</i> : capital (estoque de capital), trabalho (número total de empregados da população economicamente ativa) e consumo de energia (consumo total de eletricidade medido em quilowatts-hora); <i>Output</i> : PIB.	Dados em painel (2000 a 2019)
Liu et al. (2021a)	30 províncias da China	7°	Mensurar as eficiências energéticas de províncias chinesas e analisar a evolução de seus padrões de heterogeneidade espacial, de 2008-2017	DEA-CRS e VRS orientados ao <i>input</i>	<i>Inputs</i> : trabalho, consumo de energia e investimento em ativos fixos <i>Outputs</i> : PIB, emissões de dióxido de enxofre (<i>output</i> indesejável)	Dados em painel (2008 a 2017)

³¹ Países utilizados no estudo Zafar et al. (2021): China, Índia, Indonésia, Malásia, Singapura, Egito, Gana, Marrocos, África do Sul, Botsuana, França, Alemanha, Irlanda, Itália e Reino Unido

Quadro 10. Principais características dos trabalhos selecionados para o filtro: *Sustainable Development Goals x Data Envelopment Analysis* (conclusão)

Autores	Local	ODS	Objetivo	Modelo DEA	Variáveis	Classificação
Su e Chen (2021)	19 cidades da China	6º, 15º	Avaliar a interação entre os subsistemas água, energia e alimentos e avaliar o desempenho geral de acoplamento desses subsistemas, de modo a julgar se o método de desenvolvimento pode alcançar o desenvolvimento sustentável.	DEA-VRS orientado ao <i>input</i>	<i>Inputs</i> : força de trabalho, capital, terras agricultáveis, áreas comerciais, residenciais e industriais, gastos com qualidade da água, recursos hídricos e áreas de conservação de água; <i>Outputs</i> : valor da produção agrícola, PIB, consumo de energia, emissões de óxidos de enxofre, emissões totais de partículas suspensas, consumo de água e descarga de esgoto.	Transversal (2010)
Zakari et al. (2022)	Ásia e Pacífico ³²	7º	Estimar o impacto da inovação verde para alcançar a eficiência energética	DEA-VRS orientado ao <i>input</i> <i>Panel Correction Standard Error</i> (PCSE)	<i>Inputs</i> : capital, trabalho e consumo de energia.; <i>Output</i> : Fator de Eficiência Energética Total; <i>Variáveis explicativas</i> : poupança, PIB <i>per capita</i> , valor agregado da indústria, taxa de urbanização, consumo de energia renovável, crédito doméstico (setor privado), índice de mercado financeiro, de instituições financeira, gasto com P&D, com saúde e investimento estrangeiro direto.	Dados em painel (2000 a 2018)
Tourinho et al. (2022)	Brasil	6º	Avaliar a evolução da produtividade dos serviços de abastecimento de água e saneamento nos municípios brasileiros no período 2012-2019	MPI	<i>Input</i> : despesas totais <i>Outputs</i> : o volume de água consumido, o número de ligações de água, o comprimento da rede de abastecimento de água, o volume de esgoto coletado, o volume de esgoto tratado, o número de ligações de esgoto e a extensão da rede de esgoto.	Dados em painel (2012 a 2019)

Fonte: Elaboração própria.

³² Países utilizados no estudo Zakari et al. (2022): Austrália, Bangladesh, Butão, Brunei, China, Hong Kong, Índia, Indonésia, Japão, Coreia do Sul, Malásia, Maldivas, Mianmar, Nepal, Nova Zelândia, Papua Nova Guiné, Filipinas, Singapura, Sri Lanka e Tailândia.

Quadro 11. Principais características dos trabalhos selecionados para o filtro: *Circular Economy x Data Envelopment Analysis* (continua)

Autores	Local	Objetivo	Modelo DEA	Variáveis	Classificação
Halkos e Petrou (2019)	União Europeia	Calcular a eficiência ambiental do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) dos 28 países da UE	CRS e VRS orientado ao <i>input</i>	<i>Inputs</i> : resíduos sólidos, PIB, trabalho, capital e densidade populacional. <i>Outputs</i> : emissões de poluição do setor de resíduos na forma de óxido de nitrogênio (NOx), óxido de enxofre (SOx) e gases de efeito estufa (GEE)	Dados em painel (2008 a 2014)
Li et al. (2020)	China	Implementar a DEA em dois estágios para avaliar a eficiência do descarte de resíduos e do estágio de reutilização de recursos	CRS orientado ao <i>input</i>	<i>Inputs</i> : investimentos em tratamento de efluentes, resíduos de águas industriais, emissão de gases residuais industriais, resíduos sólidos industriais <i>Outputs</i> : resíduos de águas industriais reciclada, gases residuais industriais reciclados, resíduos sólidos industriais reciclados, eliminação de poluição, valor de produtos feitos de resíduos da indústria (águas, gases e resíduos sólidos).	Dados em painel (2006 a 2010)
Chen e Yao (2020)	30 províncias da China	Reconstruir o índice de avaliação da eficiência da Economia Circular	CRS e VRS orientado ao <i>output</i>	<i>Inputs</i> : energia elétrica e investimento em ativo fixo <i>Outputs</i> : PIB, taxa de resíduos sólidos e emissões de dióxido de enxofre (SO ₂).	Dados em painel (2011 a 2017)
Giannakitsidou et al. (2020)	26 países da União Europeia	Medir o desempenho relativo dos países da UE na gestão e exploração de RSU, usando DEA	VRS orientado ao <i>input</i>	<i>Inputs</i> : Índice de Progresso Social: a) necessidades básicas humanas, b) fundamentos de bem-estar e c) oportunidades <i>Outputs</i> : taxa de reciclagem e material de uso circular.	Dados em painel (2014 a 2017)

Quadro 11. Principais características dos trabalhos selecionados para o filtro: *Circular Economy x Data Envelopment Analysis* (continuação)

Autores	Local	Objetivo	Modelo DEA	Variáveis	Classificação
Lu et al. (2020)	30 províncias da China ³³	Mensurar a eficiência da Economia Circular de 30 províncias da China, por meio da integração da <i>Geographic Information Systems</i> (GIS) e DEA	SBM	<i>Inputs</i> : consumo de energia, consumo de recursos (água), capital investido no setor industrial e número de trabalhadores. <i>Outputs</i> : valor agregado industrial, taxa de reuso de água no setor industrial, resíduos de efluentes industriais, emissão de gases industriais e resíduos sólidos industriais	Dados em painel (2005 a 2018)
Lacko et al. (2021)	República Checa, Polónia, Hungria e Eslováquia	Comparar a eficiência circular dentro do Grupo Visegrád (República Checa, Polónia, Hungria e Eslováquia) com a média da UE.	CRS e VRS orientado ao <i>input</i>	<i>Inputs</i> : resíduos gerados e formação bruta de capital. <i>Outputs</i> : taxa de reciclagem de resíduos municipais e taxa de uso de material circular	Dados em painel (2010 a 2017)
Bagheri (2021)	Emirados Árabes Unidos	Avaliar a eficiência de diferentes setores - agricultura, petróleo bruto, gás natural e mineração, manufatura e eletricidade, construção e imobiliário, comércio e transporte, restaurantes e hotéis, serviços bancários e financeiros, governo e serviços sociais– para identificar objetivos de sustentabilidade e Economia Circular	CRS orientado ao <i>input</i>	<i>Inputs</i> : número de funcionários e o consumo de energia. <i>Outputs</i> : PIB, emissão de GEE e resíduos gerados em cada setor como variáveis de saída - agricultura, petróleo bruto, gás natural e mineração, manufatura e eletricidade, construção e imobiliário, comércio e transporte, restaurantes e hotéis, serviços bancários e financeiros, governo e serviços sociais	Transversal (2017)

³³ Classificação das regiões chinesas no estudo de Lu et al. (2020): Região leste: Beijing, Tianjin, Hebei, Liaoning, Shanghai, Jiangsu, Zhejiang, Fujian, Shandong, Guangdong e Hainan; Região central: Shanxi, Jilin, Heilongjiang, Anhui, Jiangxi, Henan, Hubei e Hunan; Região oeste: Inner Mongolia, Guangxi, Chongqing, Sichuan, Guizhou, Yunnan, Shaanxi, Gansu, Qinghai, Ningxia e Xinjiang.

Quadro 11. Principais características dos trabalhos selecionados para o filtro: *Circular Economy x Data Envelopment Analysis* (conclusão)

Autores	Local	Objetivo	Modelo DEA	Variáveis	Classificação
Zhang et al. (2022)	30 províncias da China ³⁴	Avaliar a eficiência de resíduos industriais e emergências ambientais combinado com o tratamento de poluição ambiental	SBM	<i>Inputs</i> : trabalho, energia e investimento para combater a poluição ambiental <i>Outputs</i> : PIB, resíduos de água, resíduos de gases, resíduos industriais sólidos e emergências ambientais.	Dados em painel (2013 a 2017)

Fonte: Elaboração própria

³⁴ Classificação das regiões chinesas no estudo de Zhang et al. (2022): Região leste: Beijing, Tianjin, Hebei, Shanghai, Jiangsu, Zhejiang, Fujian, Shandong, Guangdong, Hainan; Região central: Shanxi, Anhui, Jiangxi, Henan, Hubei, Hunan; Região oeste: Inner Mongolia, Guangxi, Chongqing, Sichuan, Guizhou, Yunnan, Shaanxi, Gansu, Qinghai, Ningxia, Xinjiang; Região nordeste: Liaoning, Jilin, Heilongjiang.

ANEXO

Tabela 20. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio e Metas dos ODS
(continua)

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)	Metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio
1. Erradicação da Pobreza	<p>Até 2030, erradicar a pobreza extrema para todas as pessoas em todos os lugares, atualmente medida como pessoas vivendo com menos de US\$1,25 por dia.</p> <p>Até 2030, reduzir pelo menos à metade a proporção de homens, mulheres e crianças, de todas as idades, que vivem na pobreza, em todas as suas dimensões, de acordo com as definições nacionais</p> <p>Implementar, em nível nacional, medidas e sistemas de proteção social adequados, para todos, incluindo pisos, e até 2030 atingir a cobertura substancial dos pobres e vulneráveis</p> <p>Até 2030, garantir que todos os homens e mulheres, particularmente os pobres e vulneráveis, tenham direitos iguais aos recursos econômicos, bem como o acesso a serviços básicos, propriedade e controle sobre a terra e outras formas de propriedade, herança, recursos naturais, novas tecnologias apropriadas e serviços financeiros, incluindo microfinanças.</p> <p>Até 2030, construir a resiliência dos pobres e daqueles em situação de vulnerabilidade, e reduzir a exposição e vulnerabilidade destes a eventos extremos relacionados com o clima e outros choques e desastres econômicos, sociais e ambientais.</p> <p>Garantir uma mobilização significativa de recursos a partir de uma variedade de fontes, inclusive por meio do reforço da cooperação para o desenvolvimento, para proporcionar meios adequados e previsíveis para que os países em desenvolvimento, em particular os países menos desenvolvidos, implementem programas e políticas para acabar com a pobreza em todas as suas dimensões</p> <p>Criar marcos políticos sólidos em níveis nacional, regional e internacional, com base em estratégias de desenvolvimento a favor dos pobres e sensíveis a gênero, para apoiar investimentos acelerados nas ações de erradicação da pobreza</p>
2. Fome zero e agricultura sustentável	<p>Até 2030, acabar com a fome e garantir o acesso de todas as pessoas, em particular os pobres e pessoas em situações vulneráveis, incluindo crianças, a alimentos seguros, nutritivos e suficientes durante todo o ano.</p> <p>Até 2030, acabar com todas as formas de má-nutrição, incluindo atingir, até 2025, as metas acordadas internacionalmente sobre nanismo e caquexia em crianças menores de cinco anos de idade, e atender às necessidades nutricionais dos adolescentes, mulheres grávidas e lactantes e pessoas idosas.</p> <p>Até 2030, dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos, particularmente das mulheres, povos indígenas, agricultores familiares, pastores e pescadores, inclusive por meio de acesso seguro e igual à terra, outros recursos produtivos e insumos, conhecimento, serviços financeiros, mercados e oportunidades de agregação de valor e de emprego não agrícola.</p> <p>Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo.</p> <p>Até 2020, manter a diversidade genética de sementes, plantas cultivadas, animais de criação e domesticados e suas respectivas espécies selvagens, inclusive por meio de bancos de sementes e plantas diversificados e bem geridos em nível nacional, regional e internacional, e garantir o acesso e a repartição justa e equitativa dos benefícios decorrentes da utilização dos recursos genéticos e conhecimentos tradicionais associados, como acordado internacionalmente</p> <p>Aumentar o investimento, inclusive via o reforço da cooperação internacional, em infraestrutura rural, pesquisa e extensão de serviços agrícolas, desenvolvimento de tecnologia, e os bancos de genes de plantas e animais, para aumentar a capacidade de produção agrícola nos países em desenvolvimento, em particular nos países menos desenvolvidos.</p> <p>Corrigir e prevenir as restrições ao comércio e distorções nos mercados agrícolas mundiais, incluindo a eliminação paralela de todas as formas de subsídios à exportação e todas as medidas de exportação com efeito equivalente, de acordo com o mandato da Rodada de Desenvolvimento de Doha.</p>

Tabela 20. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio e Metas dos ODS
(continuação)

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)	Metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio
3. Saúde e Bem-estar	<p>Adotar medidas para garantir o funcionamento adequado dos mercados de commodities de alimentos e seus derivados, e facilitar o acesso oportuno à informação de mercado, inclusive sobre as reservas de alimentos, a fim de ajudar a limitar a volatilidade extrema dos preços dos alimentos.</p> <p>Até 2030, reduzir a taxa de mortalidade materna global para menos de 70 mortes por 100.000 nascidos vivos.</p> <p>Até 2030, acabar com as mortes evitáveis de recém-nascidos e crianças menores de 5 anos, com todos os países objetivando reduzir a mortalidade neonatal para pelo menos 12 por 1.000 nascidos vivos e a mortalidade de crianças menores de 5 anos para pelo menos 25 por 1.000 nascidos vivos.</p> <p>Até 2030, acabar com as epidemias de AIDS, tuberculose, malária e doenças tropicais negligenciadas, e combater a hepatite, doenças transmitidas pela água, e outras doenças transmissíveis.</p> <p>Até 2030, reduzir em um terço a mortalidade prematura por doenças não transmissíveis via prevenção e tratamento, e promover a saúde mental e o bem-estar.</p> <p>Reforçar a prevenção e o tratamento do abuso de substâncias, incluindo o abuso de drogas entorpecentes e uso nocivo do álcool.</p> <p>Até 2020, reduzir pela metade as mortes e os ferimentos globais por acidentes em estradas.</p> <p>Até 2030, assegurar o acesso universal aos serviços de saúde sexual e reprodutiva, incluindo o planejamento familiar, informação e educação, bem como a integração da saúde reprodutiva em estratégias e programas nacionais.</p> <p>Atingir a cobertura universal de saúde, incluindo a proteção do risco financeiro, o acesso a serviços de saúde essenciais de qualidade e o acesso a medicamentos e vacinas essenciais seguros, eficazes, de qualidade e a preços acessíveis para todos.</p> <p>Até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e água do solo.</p> <p>Fortalecer a implementação da Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco em todos os países, conforme apropriado.</p> <p>Apoiar a pesquisa e o desenvolvimento de vacinas e medicamentos para as doenças transmissíveis e não transmissíveis, que afetam principalmente os países em desenvolvimento, proporcionar o acesso a medicamentos e vacinas essenciais a preços acessíveis, de acordo com a Declaração de Doha, que afirma o direito dos países em desenvolvimento de utilizarem plenamente as disposições do acordo TRIPS sobre flexibilidades para proteger a saúde pública e, em particular, proporcionar o acesso a medicamentos para todos.</p> <p>Aumentar substancialmente o financiamento da saúde e o recrutamento, desenvolvimento e formação, e retenção do pessoal de saúde nos países em desenvolvimento, especialmente nos países menos desenvolvidos e nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento.</p> <p>Reforçar a capacidade de todos os países, particularmente os países em desenvolvimento, para o alerta precoce, redução de riscos e gerenciamento de riscos nacionais e globais de saúde.</p>
4. Educação de Qualidade	<p>Até 2030, garantir que todas as meninas e meninos completem o ensino primário e secundário gratuito, equitativo e de qualidade, que conduza a resultados de aprendizagem relevantes e eficazes.</p> <p>Até 2030, garantir que todos as meninas e meninos tenham acesso a um desenvolvimento de qualidade na primeira infância, cuidados e educação pré-escolar, de modo que eles estejam prontos para o ensino primário.</p> <p>Até 2030, assegurar a igualdade de acesso para todos os homens e mulheres à educação técnica, profissional e superior de qualidade, a preços acessíveis, incluindo universidade.</p> <p>Até 2030, aumentar substancialmente o número de jovens e adultos que tenham habilidades relevantes, inclusive competências técnicas e profissionais, para emprego, trabalho decente e empreendedorismo.</p> <p>Até 2030, eliminar as disparidades de gênero na educação e garantir a igualdade de acesso a todos os níveis de educação e formação profissional para os mais vulneráveis, incluindo as pessoas com deficiência, povos indígenas e as crianças em situação de vulnerabilidade.</p> <p>Até 2030, garantir que todos os jovens e uma substancial proporção dos adultos, homens e mulheres estejam alfabetizados e tenham adquirido o conhecimento básico de matemática.</p>

Tabela 20. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio e Metas dos ODS
(continuação)

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)	Metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio
4. Educação de Qualidade	<p>Até 2030, garantir que todos os alunos adquiram conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável, inclusive, entre outros, por meio da educação para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida sustentáveis, direitos humanos, igualdade de gênero, promoção de uma cultura de paz e não violência, cidadania global e valorização da diversidade cultural e da contribuição da cultura para o desenvolvimento sustentável</p> <p>Construir e melhorar instalações físicas para a educação, apropriadas para crianças e sensíveis às deficiências e ao gênero e que proporcionem ambientes de aprendizagem seguros, não violentos, inclusivos e eficazes para todos</p> <p>Até 2020, substancialmente ampliar globalmente o número de bolsas de estudo para os países em desenvolvimento, em particular os países menos desenvolvidos, pequenos Estados insulares em desenvolvimento e os países africanos, para o ensino superior, incluindo programas de formação profissional, de tecnologia da informação e da comunicação, técnicos, de engenharia e programas científicos em países desenvolvidos e outros países em desenvolvimento.</p> <p>Até 2030, substancialmente aumentar o contingente de professores qualificados, inclusive por meio da cooperação internacional para a formação de professores, nos países em desenvolvimento, especialmente os países menos desenvolvidos e pequenos Estados insulares em desenvolvimento.</p>
5. Igualdade de Gênero	<p>Acabar com todas as formas de discriminação contra todas as mulheres e meninas em todas partes.</p> <p>Eliminar todas as formas de violência contra todas as mulheres e meninas nas esferas públicas e privadas, incluindo o tráfico e exploração sexual e de outros tipos.</p> <p>Eliminar todas as práticas nocivas, como os casamentos prematuros, forçados e de crianças e mutilações genitais femininas.</p> <p>Reconhecer e valorizar o trabalho de assistência e doméstico não remunerado, por meio da disponibilização de serviços públicos, infraestrutura e políticas de proteção social, bem como a promoção da responsabilidade compartilhada dentro do lar e da família, conforme os contextos nacionais</p> <p>Garantir a participação plena e efetiva das mulheres e a igualdade de oportunidades para a liderança em todos os níveis de tomada de decisão na vida política, econômica e pública.</p> <p>Assegurar o acesso universal à saúde sexual e reprodutiva e os direitos reprodutivos, como acordado em conformidade com o Programa de Ação da Conferência Internacional sobre População e Desenvolvimento e com a Plataforma de Ação de Pequim e os documentos resultantes de suas conferências de revisão.</p> <p>Realizar reformas para dar às mulheres direitos iguais aos recursos econômicos, bem como o acesso a propriedade e controle sobre a terra e outras formas de propriedade, serviços financeiros, herança e os recursos naturais, de acordo com as leis nacionais.</p> <p>Aumentar o uso de tecnologias de base, em particular as tecnologias de informação e comunicação, para promover o empoderamento das mulheres.</p> <p>Adotar e fortalecer políticas sólidas e legislação aplicável para a promoção da igualdade de gênero e o empoderamento de todas as mulheres e meninas em todos os níveis.</p>
6. Água Potável e Saneamento	<p>Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos.</p> <p>Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade.</p> <p>Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente.</p> <p>Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água.</p> <p>Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado.</p> <p>Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos.</p>

Tabela 20. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio e Metas dos ODS
(continuação)

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)	Metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio
	Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso. Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento
7. Energia Limpa e Acessível	<p>Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia</p> <p>Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global</p> <p>Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética</p> <p>Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa</p> <p>Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio.</p>
8. Trabalho Decente e Crescimento Econômico	<p>Sustentar o crescimento econômico <i>per capita</i> de acordo com as circunstâncias nacionais e, em particular, um crescimento anual de pelo menos 7% do produto interno bruto [PIB] nos países menos desenvolvidos.</p> <p>Atingir níveis mais elevados de produtividade das economias por meio da diversificação, modernização tecnológica e inovação, inclusive por meio de um foco em setores de alto valor agregado e dos setores intensivos em mão de obra.</p> <p>Promover políticas orientadas para o desenvolvimento que apoiem as atividades produtivas, geração de emprego decente, empreendedorismo, criatividade e inovação, e incentivar a formalização e o crescimento das micro, pequenas e médias empresas, inclusive por meio do acesso a serviços financeiros.</p> <p>Melhorar progressivamente, até 2030, a eficiência dos recursos globais no consumo e na produção, e empenhar-se para dissociar o crescimento econômico da degradação ambiental, de acordo com o Plano Decenal de Programas sobre Produção e Consumo Sustentáveis, com os países desenvolvidos assumindo a liderança.</p> <p>Até 2030, alcançar o emprego pleno e produtivo e trabalho decente todas as mulheres e homens, inclusive para os jovens e as pessoas com deficiência, e remuneração igual para trabalho de igual valor.</p> <p>Até 2020, reduzir substancialmente a proporção de jovens sem emprego, educação ou formação.</p> <p>Tomar medidas imediatas e eficazes para erradicar o trabalho forçado, acabar com a escravidão moderna e o tráfico de pessoas, e assegurar a proibição e eliminação das piores formas de trabalho infantil, incluindo recrutamento e utilização de crianças-soldado, e até 2025 acabar com o trabalho infantil em todas as suas formas.</p> <p>Proteger os direitos trabalhistas e promover ambientes de trabalho seguros e protegidos para todos os trabalhadores, incluindo os trabalhadores migrantes, em particular as mulheres migrantes, e pessoas em empregos precários.</p> <p>Até 2030, elaborar e implementar políticas para promover o turismo sustentável, que gera empregos e promove a cultura e os produtos locais.</p> <p>Fortalecer a capacidade das instituições financeiras nacionais para incentivar a expansão do acesso aos serviços bancários, de seguros e financeiros para todos.</p> <p>Aumentar o apoio da Iniciativa de Ajuda para o Comércio [<i>Aid for trade</i>] para os países em desenvolvimento, particularmente os países menos desenvolvidos, inclusive por meio do Quadro Integrado Reforçado para a Assistência Técnica Relacionada com o Comércio para os países menos desenvolvidos.</p> <p>Até 2020, desenvolver e operacionalizar uma estratégia global para o emprego dos jovens e implementar o Pacto Mundial para o Emprego da Organização Internacional do Trabalho [OIT].</p>
9. Indústria, Inovação e Infraestrutura	<p>Desenvolver infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e resiliente, incluindo infraestrutura regional e transfronteiriça, para apoiar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano, com foco no acesso equitativo e a preços acessíveis para todos.</p> <p>Promover a industrialização inclusiva e sustentável e, até 2030, aumentar significativamente a participação da indústria no emprego e no produto interno bruto, de acordo com as circunstâncias nacionais, e dobrar sua participação nos países de menor desenvolvimento relativo.</p>

Tabela 20. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio e Metas dos ODS
(continuação)

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)	Metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio
9. Indústria, Inovação e Infraestrutura	<p>Aumentar o acesso das pequenas indústrias e outras empresas, particularmente em países em desenvolvimento, aos serviços financeiros, incluindo crédito acessível e propiciar sua integração em cadeias de valor e mercados</p> <p>Até 2030, modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente adequados; com todos os países atuando de acordo com suas respectivas capacidades</p> <p>Fortalecer a pesquisa científica, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais em todos os países, particularmente nos países em desenvolvimento, inclusive, até 2030, incentivando a inovação e aumentando substancialmente o número de trabalhadores de pesquisa e desenvolvimento por milhão de pessoas e os gastos público e privado em pesquisa e desenvolvimento</p> <p>Facilitar o desenvolvimento de infraestrutura sustentável e resiliente em países em desenvolvimento, por meio de maior apoio financeiro, tecnológico e técnico aos países africanos, aos países de menor desenvolvimento relativo, aos países em desenvolvimento sem litoral e aos pequenos Estados insulares em desenvolvimento.</p> <p>Apoiar o desenvolvimento tecnológico, a pesquisa e a inovação nacionais nos países em desenvolvimento, inclusive garantindo um ambiente político propício para, entre outras coisas, diversificação industrial e agregação de valor às commodities.</p> <p>Aumentar significativamente o acesso às tecnologias de informação e comunicação e empenhar-se para procurar ao máximo oferecer acesso universal e a preços acessíveis à internet nos países menos desenvolvidos, até 2020.</p>
10. Redução das Desigualdades	<p>Até 2030, progressivamente alcançar e sustentar o crescimento da renda dos 40% da população mais pobre a uma taxa maior que a média nacional.</p> <p>Até 2030, empoderar e promover a inclusão social, econômica e política de todos, independentemente da idade, gênero, deficiência, raça, etnia, origem, religião, condição econômica ou outra.</p> <p>Garantir a igualdade de oportunidades e reduzir as desigualdades de resultados, inclusive por meio da eliminação de leis, políticas e práticas discriminatórias e da promoção de legislação, políticas e ações adequadas a este respeito.</p> <p>Adotar políticas, especialmente fiscal, salarial e de proteção social, e alcançar progressivamente uma maior igualdade.</p> <p>Melhorar a regulamentação e monitoramento dos mercados e instituições financeiras globais e fortalecer a implementação de tais regulamentações.</p> <p>Assegurar uma representação e voz mais forte dos países em desenvolvimento em tomadas de decisão nas instituições econômicas e financeiras internacionais globais, a fim de produzir instituições mais eficazes, críveis, responsáveis e legítimas.</p> <p>Facilitar a migração e a mobilidade ordenada, segura, regular e responsável das pessoas, inclusive por meio da implementação de políticas de migração planejadas e bem geridas.</p> <p>Implementar o princípio do tratamento especial e diferenciado para países em desenvolvimento, em particular os países menos desenvolvidos, em conformidade com os acordos da OMC.</p> <p>Incentivar a assistência oficial ao desenvolvimento e fluxos financeiros, incluindo o investimento externo direto, para os Estados onde a necessidade é maior, em particular os países menos desenvolvidos, os países africanos, os pequenos Estados insulares em desenvolvimento e os países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus planos e programas nacionais.</p> <p>Até 2030, reduzir para menos de 3% os custos de transação de remessas dos migrantes e eliminar os corredores de remessas com custos superiores a 5%.</p>
11. Cidades e Comunidades Sustentáveis	<p>Até 2030, garantir o acesso de todos à habitação segura, adequada e a preço acessível, e aos serviços básicos e urbanizar as favelas.</p> <p>Até 2030, proporcionar o acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis, sustentáveis e a preço acessível para todos, melhorando a segurança rodoviária por meio da expansão dos transportes públicos, com especial atenção para as necessidades das pessoas em situação de vulnerabilidade, mulheres, crianças, pessoas com deficiência e idosos.</p> <p>Até 2030, aumentar a urbanização inclusiva e sustentável, e as capacidades para o planejamento e gestão de assentamentos humanos participativos, integrados e sustentáveis, em todos os países.</p> <p>Fortalecer esforços para proteger e salvaguardar o patrimônio cultural e natural do mundo.</p>

Tabela 20. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio e Metas dos ODS
(continuação)

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)	Metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio
11. Cidades e Comunidades Sustentáveis	<p>Até 2030, reduzir significativamente o número de mortes e o número de pessoas afetadas por catástrofes e substancialmente diminuir as perdas econômicas diretas causadas por elas em relação ao produto interno bruto global, incluindo os desastres relacionados à água, com o foco em proteger os pobres e as pessoas em situação de vulnerabilidade.</p> <p>Até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo <i>per capita</i> das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros.</p> <p>Até 2030, proporcionar o acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis e verdes, particularmente para as mulheres e crianças, pessoas idosas e pessoas com deficiência.</p> <p>Apoiar relações econômicas, sociais e ambientais positivas entre áreas urbanas, peri-urbanas e rurais, reforçando o planejamento nacional e regional de desenvolvimento.</p> <p>Até 2020, aumentar substancialmente o número de cidades e assentamentos humanos adotando e implementando políticas e planos integrados para a inclusão, a eficiência dos recursos, mitigação e adaptação às mudanças climáticas, a resiliência a desastres; e desenvolver e implementar, de acordo com o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030, o gerenciamento holístico do risco de desastres em todos os níveis.</p> <p>Apoiar os países menos desenvolvidos, inclusive por meio de assistência técnica e financeira, para construções sustentáveis e resilientes, utilizando materiais locais.</p>
12. Consumo e Produção Responsáveis	<p>Implementar o Plano Decenal de Programas sobre Produção e Consumo Sustentáveis, com todos os países tomando medidas, e os países desenvolvidos assumindo a liderança, tendo em conta o desenvolvimento e as capacidades dos países em desenvolvimento.</p> <p>Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais.</p> <p>Até 2030, reduzir pela metade o desperdício de alimentos <i>per capita</i> mundial, nos níveis de varejo e do consumidor, e reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita.</p> <p>Até 2020, alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente.</p> <p>Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.</p> <p>Incentivar as empresas, especialmente as empresas grandes e transnacionais, a adotar práticas sustentáveis e a integrar informações de sustentabilidade em seu ciclo de relatórios.</p> <p>Promover práticas de compras públicas sustentáveis, de acordo com as políticas e prioridades nacionais.</p> <p>Até 2030, garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza.</p> <p>Apoiar países em desenvolvimento a fortalecer suas capacidades científicas e tecnológicas para mudar para padrões mais sustentáveis de produção e consumo.</p> <p>Desenvolver e implementar ferramentas para monitorar os impactos do desenvolvimento sustentável para o turismo sustentável, que gera empregos, promove a cultura e os produtos locais.</p> <p>Racionalizar subsídios ineficientes aos combustíveis fósseis, que encorajam o consumo exagerado, eliminando as distorções de mercado, de acordo com as circunstâncias nacionais, inclusive por meio da reestruturação fiscal e a eliminação gradual desses subsídios prejudiciais, caso existam, para refletir os seus impactos ambientais, tendo plenamente em conta as necessidades específicas e condições dos países em desenvolvimento e minimizando os possíveis impactos adversos sobre o seu desenvolvimento de uma forma que proteja os pobres e as comunidades afetadas.</p>
13. Ação contra a mudança global do clima	<p>Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países</p> <p>Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais</p> <p>Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima</p>
14. Vida na Água	<p>Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países.</p> <p>Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais.</p>

Tabela 20. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio e Metas dos ODS
(continuação)

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)	Metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio
13. Ação contra a mudança global do clima	<p>Implementar o compromisso assumido pelos países desenvolvidos partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima [UNFCCC] para a meta de mobilizar conjuntamente US\$ 100 bilhões por ano a partir de 2020, de todas as fontes, para atender às necessidades dos países em desenvolvimento, no contexto das ações de mitigação significativas e transparência na implementação; e operacionalizar plenamente o Fundo Verde para o Clima por meio de sua capitalização o mais cedo possível</p> <p>Promover mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento relacionado à mudança do clima e à gestão eficaz, nos países menos desenvolvidos, inclusive com foco em mulheres, jovens, comunidades locais e marginalizadas</p>
14. Vida na Água	<p>Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima</p> <p>Implementar o compromisso assumido pelos países desenvolvidos partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima [UNFCCC] para a meta de mobilizar conjuntamente US\$ 100 bilhões por ano a partir de 2020, de todas as fontes, para atender às necessidades dos países em desenvolvimento, no contexto das ações de mitigação significativas e transparência na implementação; e operacionalizar plenamente o Fundo Verde para o Clima por meio de sua capitalização o mais cedo possível</p> <p>Promover mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento relacionado à mudança do clima e à gestão eficaz, nos países menos desenvolvidos, inclusive com foco em mulheres, jovens, comunidades locais e marginalizadas.</p>
15. Vida Terrestre	<p>Até 2020, assegurar a conservação, recuperação e uso sustentável de ecossistemas terrestres e de água doce interiores e seus serviços, em especial florestas, zonas úmidas, montanhas e terras áridas, em conformidade com as obrigações decorrentes dos acordos internacionais.</p> <p>Até 2020, promover a implementação da gestão sustentável de todos os tipos de florestas, deter o desmatamento, restaurar florestas degradadas e aumentar substancialmente o florestamento e o reflorestamento globalmente.</p> <p>Até 2030, combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo.</p> <p>Até 2030, assegurar a conservação dos ecossistemas de montanha, incluindo a sua biodiversidade, para melhorar a sua capacidade de proporcionar benefícios que são essenciais para o desenvolvimento sustentável.</p> <p>Tomar medidas urgentes e significativas para reduzir a degradação de habitat naturais, deter a perda de biodiversidade e, até 2020, proteger e evitar a extinção de espécies ameaçadas.</p> <p>Garantir uma repartição justa e equitativa dos benefícios derivados da utilização dos recursos genéticos e promover o acesso adequado aos recursos genéticos.</p> <p>Tomar medidas urgentes para acabar com a caça ilegal e o tráfico de espécies da flora e fauna protegidas e abordar tanto a demanda quanto a oferta de produtos ilegais da vida selvagem.</p> <p>Até 2020, implementar medidas para evitar a introdução e reduzir significativamente o impacto de espécies exóticas invasoras em ecossistemas terrestres e aquáticos, e controlar ou erradicar as espécies prioritárias.</p> <p>Até 2020, integrar os valores dos ecossistemas e da biodiversidade ao planejamento nacional e local, nos processos de desenvolvimento, nas estratégias de redução da pobreza e nos sistemas de contas.</p> <p>Mobilizar e aumentar significativamente, a partir de todas as fontes, os recursos financeiros para a conservação e o uso sustentável da biodiversidade e dos ecossistemas.</p> <p>Mobilizar recursos significativos de todas as fontes e em todos os níveis para financiar o manejo florestal sustentável e proporcionar incentivos adequados aos países em desenvolvimento para promover o manejo florestal sustentável, inclusive para a conservação e o reflorestamento.</p> <p>Reforçar o apoio global para os esforços de combate à caça ilegal e ao tráfico de espécies protegidas, inclusive por meio do aumento da capacidade das comunidades locais para buscar oportunidades de subsistência sustentável.</p>
16. Paz, Justiça e Instituições Eficazes	<p>Reduzir significativamente todas as formas de violência e as taxas de mortalidade relacionada em todos os lugares.</p> <p>Acabar com abuso, exploração, tráfico e todas as formas de violência e tortura contra crianças.</p> <p>Promover o Estado de Direito, em nível nacional e internacional, e garantir a igualdade de acesso à justiça para todos.</p>

Tabela 20. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio e Metas dos ODS
(continuação)

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)	Metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio
16. Paz, Justiça e Instituições Eficazes	<p>Até 2030, reduzir significativamente os fluxos financeiros e de armas ilegais, reforçar a recuperação e devolução de recursos roubados e combater todas as formas de crime organizado</p> <p>Reduzir substancialmente a corrupção e o suborno em todas as suas formas</p> <p>Desenvolver instituições eficazes, responsáveis e transparentes em todos os níveis</p> <p>Garantir a tomada de decisão responsiva, inclusiva, participativa e representativa em todos os níveis</p> <p>Ampliar e fortalecer a participação dos países em desenvolvimento nas instituições de governança global</p> <p>Até 2030, fornecer identidade legal para todos, incluindo o registro de nascimento</p> <p>Assegurar o acesso público à informação e proteger as liberdades fundamentais, em conformidade com a legislação nacional e os acordos internacionais</p> <p>Fortalecer as instituições nacionais relevantes, inclusive por meio da cooperação internacional, para a construção de capacidades em todos os níveis, em particular nos países em desenvolvimento, para a prevenção da violência e o combate ao terrorismo e ao crime</p> <p>Promover e fazer cumprir leis e políticas não discriminatórias para o desenvolvimento sustentável</p>
17. Parcerias e Meios de Implementação	<p>Fortalecer a mobilização de recursos internos, inclusive por meio do apoio internacional aos países em desenvolvimento, para melhorar a capacidade nacional para arrecadação de impostos e outras receitas.</p> <p>Países desenvolvidos implementarem plenamente os seus compromissos em matéria de assistência oficial ao desenvolvimento [AOD], inclusive fornecer 0,7% da renda nacional bruta [RNB] em AOD aos países em desenvolvimento, dos quais 0,15% a 0,20% para os países menos desenvolvidos; provedores de AOD são encorajados a considerar a definir uma meta para fornecer pelo menos 0,20% da renda nacional bruta em AOD para os países menos desenvolvidos.</p> <p>Mobilizar recursos financeiros adicionais para os países em desenvolvimento a partir de múltiplas fontes.</p> <p>Ajudar os países em desenvolvimento a alcançar a sustentabilidade da dívida de longo prazo por meio de políticas coordenadas destinadas a promover o financiamento, a redução e a reestruturação da dívida, conforme apropriado, e tratar da dívida externa dos países pobres altamente endividados para reduzir o superendividamento.</p> <p>Adotar e implementar regimes de promoção de investimentos para os países menos desenvolvidos.</p> <p>Melhorar a cooperação Norte-Sul, Sul-Sul e triangular regional e internacional e o acesso à ciência, tecnologia e inovação, e aumentar o compartilhamento de conhecimentos em termos mutuamente acordados, inclusive por meio de uma melhor coordenação entre os mecanismos existentes, particularmente no nível das Nações Unidas, e por meio de um mecanismo de facilitação de tecnologia global.</p> <p>Promover o desenvolvimento, a transferência, a disseminação e a difusão de tecnologias ambientalmente corretas para os países em desenvolvimento, em condições favoráveis, inclusive em condições concessionais e preferenciais, conforme mutuamente acordado.</p> <p>Operacionalizar plenamente o Banco de Tecnologia e o mecanismo de capacitação em ciência, tecnologia e inovação para os países menos desenvolvidos até 2017, e aumentar o uso de tecnologias de capacitação, em particular das tecnologias de informação e comunicação.</p> <p>Reforçar o apoio internacional para a implementação eficaz e orientada da capacitação em países em desenvolvimento, a fim de apoiar os planos nacionais para implementar todos os objetivos de desenvolvimento sustentável, inclusive por meio da cooperação Norte-Sul, Sul-Sul e triangular.</p> <p>Promover um sistema multilateral de comércio universal, baseado em regras, aberto, não discriminatório e equitativo no âmbito da Organização Mundial do Comércio, inclusive por meio da conclusão das negociações no âmbito de sua Agenda de Desenvolvimento de Doha.</p> <p>Aumentar significativamente as exportações dos países em desenvolvimento, em particular com o objetivo de duplicar a participação dos países menos desenvolvidos nas exportações globais até 2020.</p> <p>Concretizar a implementação oportuna de acesso a mercados livres de cotas e taxas, de forma duradoura, para todos os países menos desenvolvidos, de acordo com as decisões da OMC, inclusive por meio de garantias de que as regras de origem preferenciais aplicáveis às importações provenientes de países menos desenvolvidos sejam transparentes e simples, e contribuam para facilitar o acesso ao mercado.</p> <p>Aumentar a estabilidade macroeconômica global, inclusive por meio da coordenação e da coerência de políticas.</p> <p>Aumentar a coerência das políticas para o desenvolvimento sustentável.</p> <p>Respeitar o espaço político e a liderança de cada país para estabelecer e implementar políticas para a erradicação da pobreza e o desenvolvimento sustentável.</p>

Tabela 20. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio e Metas dos ODS
(conclusão)

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS)	Metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio
17. Parcerias e Meios de Implementação	<p>Reforçar a parceria global para o desenvolvimento sustentável, complementada por parcerias multissetoriais que mobilizem e compartilhem conhecimento, expertise, tecnologia e recursos financeiros, para apoiar a realização dos objetivos do desenvolvimento sustentável em todos os países, particularmente nos países em desenvolvimento</p> <p>Incentivar e promover parcerias públicas, público-privadas e com a sociedade civil eficazes, a partir da experiência das estratégias de mobilização de recursos dessas parcerias</p> <p>Até 2020, reforçar o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento, inclusive para os países menos desenvolvidos e pequenos Estados insulares em desenvolvimento, para aumentar significativamente a disponibilidade de dados de alta qualidade, atuais e confiáveis, desagregados por renda, gênero, idade, raça, etnia, status migratório, deficiência, localização geográfica e outras características relevantes em contextos nacionais.</p> <p>Até 2030, valer-se de iniciativas existentes para desenvolver medidas do progresso do desenvolvimento sustentável que complementem o produto interno bruto [PIB] e apoiem a capacitação estatística nos países em desenvolvimento</p>

Fonte: ONU (2015).