

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS - ICSA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

**Análise da Sustentabilidade Ambiental por meio do *Data Envelopment Analysis* (DEA): o caso da América Latina**

Marcos Antônio de Melo Martins

Mariana

2023

Marcos Antônio de Melo Martins

**Análise da Sustentabilidade Ambiental por meio do  
Data Envelopment Analysis (DEA): o caso da América  
Latina**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Diogo Ferraz

Mariana

2023

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M386a Martins, Marcos Antonio De Melo.

Análise da sustentabilidade ambiental por meio do Data Envelopment Analysis (DEA) [manuscrito]: o caso da América Latina. / Marcos Antonio De Melo Martins. - 2023.

37 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Diogo Ferraz Ferraz.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Sociais Aplicadas. Graduação em Ciências Econômicas .

1. Análise de envoltória de dados. 2. Benchmarking (Administração). 3. Crescimento econômico. 4. Indicadores ambientais. I. Ferraz, Diogo Ferraz. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 005.73

Bibliotecário(a) Responsável: Essevalter De Sousa - Bibliotecário Coordenador  
CBICSA/SISBIN/UFOP-CRB6a1407



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Marcos Antônio de Melo Martins**

### **Análise da Sustentabilidade Ambiental por meio do Data Envelopment Analysis (DEA): o caso da América Latina**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel

Aprovada em 02 de Agosto de 2023

#### Membros da banca

Doutor - Diogo Ferraz - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto  
Doutor- Victor Maia Senna Delgado - Universidade Federal de Ouro Preto  
Doutor - Guilherme Augusto Roiz - Universidade de São Paulo

Diogo Ferraz, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 16/08/2023



Documento assinado eletronicamente por **Diogo Ferraz, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/08/2023, às 08:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0566116** e o código CRC **5B5F66C8**.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me abençoado durante toda minha trajetória de vida, também a minha família, em especial minha mãe Maria da Penha e minha querida irmã Wesdaime, meu pai Antônio e meu cunhado Guilherme por todo apoio e incentivo que recebi.

Agradeço ao professor Diogo Ferraz, pela disponibilidade para com este trabalho, por dividir sua bagagem científica e humana, sou muito grato por ter você fazendo parte da minha história acadêmica.

À UFOP e aos professores do departamento de Ciências Econômicas da UFOP, pelos ensinamentos e sabedoria transmitidos ao longo de minha trajetória universitária. Muito obrigado!

## RESUMO

Os países têm o duplo desafio de gerar crescimento econômico, sem causar a destruição do meio ambiente. Isto é importante porque evita prejudicar as gerações futuras, ou seja, promovendo o desenvolvimento sustentável. Autoridades internacionais têm se reunido para debater sobre o tema e firmado acordos e tratados em busca do crescimento sustentável. Esta monografia tem como objetivo mensurar a ecoeficiência por meio do Índice de Ecoeficiência (IE) para 26 países da América Latina para o ano de 2014. O método utilizado foi a Análise Envoltória de Dados (DEA) por meio de um modelo de Retornos Variáveis à Escala (BCC). Os resultados revelaram que 9 países latino-americanos (34%) foram eficientes e 17 países (64%) foram ineficientes em 2014. Os países com maior ecoeficiência são Belize, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Paraguai, Trinidad e Tobago, Uruguai e a Venezuela. Por fim, a análise revela que os países com retorno constante são Colômbia, Costa Rica, Paraguai, Trinidad e Tobago e Uruguai.

**Palavras-Chave:** Crescimento Econômico, Índice de Ecoeficiência, Análise Envoltória de Dados, Benchmarking

## **ABSTRACT**

Countries have the dual challenge of generating economic growth without causing environmental destruction. This is important because it avoids harming future generations, that is, promoting sustainable development. International authorities have met to discuss the issue and signed agreements and treaties in pursuit of sustainable growth. This monograph aims to measure eco-efficiency through the Eco-Efficiency Index (EI) for 26 Latin American countries for the year 2014. The method used was Data Envelopment Analysis (DEA) through a Variable Return model to Scale (BCC). The results revealed that 9 Latin American countries (34%) were efficient, and 17 countries (64%) were inefficient in 2014. The countries with the highest eco-efficiency are Belize, Brazil, Chile, Colombia, Costa Rica, Paraguay, Trinidad and Tobago, Uruguay, and Venezuela. Finally, the analysis reveals that the countries with constant return are Colombia, Costa Rica, Paraguay, Trinidad and Tobago and Uruguay.

**Keywords:** Economic Growth, Eco-efficiency Index, Data Envelopment Analysis, Benchmarking

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2. ARCABOUÇO TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Economia Verde e a Sustentabilidade Ambiental.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Degradação Ambiental e Poluentes .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3 América Latina e o Meio Ambiente .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4 Ecoeficiência e Indicadores de Sustentabilidade.....</b>	<b>18</b>
<b>3. MÉTODO.....</b>	<b>22</b>
<b>4. Resultados .....</b>	<b>25</b>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>Referências .....</b>	<b>32</b>

# 1. INTRODUÇÃO

Dado as alterações climáticas, que vem sendo percebidas cada vez mais ao redor do mundo, a sustentabilidade ambiental que pode ser dita como sendo a utilização de bens e recursos naturais no presente, de forma que não impacte o fornecimento desses mesmos bens e recursos para gerações futuras. Este sendo um dos principais temas na política mundial nas últimas décadas, dado que já foram feitas diversas convenções e tratados, tendo a participação de vários países, afim de mitigar os impactos ambientais. Cabendo destacar os tratados:

“i) Protocolo de Montreal (1987, modificado em 1990, 1991 e 1992), adotava a eliminação dos halocarbonetos e clorofluorcarbonos (CFCs); ii) Convenção-Qdro das Nações Unidas acerca das alterações climáticas (1992): evita intervenções humanas perigosas no clima global; iii) Protocolo de Kyoto (1997): reduções de emissões de gases poluentes (de pelo menos 5%) por uma série de países; iv) Acordo de Paris (2015): medidas de redução de emissão de gases estufa a partir de 2020.” (RAPINI, RUFFONI e LEANDRO ALVES SILVA, 2021)

Assim, com esses tratados os países estão buscando vencer o desafio de crescerem economicamente de forma sustentável. Dentre estes países, os desenvolvidos, tem maior capacidade para investir em tecnologias e arcar com custos do “freio” que a diminuição da poluição pode gerar para economia. Já países em desenvolvimento, em especial, a América Latina sofre com um duplo desafio de gerar crescimento econômico e não impactar o meio ambiente, visto que países desta região não apresentam crescimento econômico regular e ainda terem que o fazer de forma sustentável, representa uma grande dificuldade, dado que ainda possuem velhos desafios, que são erradicar a pobreza e eliminar desigualdades.

Dado esse grande desafio, há necessidade de boas ferramentas para que as autoridades possam formular políticas públicas a fim de controlar a degradação e a poluição do meio ambiente, para que os países se tornem ecoeficientes e assim possam concluir este desafio de terem um crescimento econômico sustentável. Os indicadores ambientais podem ser essas ferramentas, estes são dados obtidos que caracterizam algumas condições dos recursos naturais, de atividades humanas relacionadas e do meio ambiente (AMBIENTE, 2022), assim dão respaldo quantitativo para elaboração de políticas públicas.

Exemplos de indicadores ambientais são os que se dão através da modelagem em Análise Envoltória de Dados (DEA), por exemplo o Índice de Ecoeficiência (IE) que varia entre 0 e 1, sendo  $IE \leq 0,25$  muito baixo;  $0,25 < IE \leq 0,50$  baixo;  $0,50 < IE \leq 0,75$  médio;  $0,75 < IE \leq 1$  alto, assim quanto mais próximo de 1 mais ecoeficiente é o país, ou seja, este país está buscando reduzir os impactos gerados pelas atividades produtivas. A grande relevância que se tem em DEA é que a amostra exhibe a homogeneidade das DMU apuradas, que exercem a mesma função e modificam insumos em produtos de forma comum (ZHOU, ANG e POH, 2008), tendo como vantagem a viabilidade de se imputar pesos às variáveis apontadas no estudo, já como desvantagem que não cabe a utilização dos resultados para estatística inferencial e descritiva. Para a América Latina, hoje em dia, ainda se percebe a falta de estudos que utilizem esses indicadores para medir a ecoeficiência.

Países da América Latina tem grande necessidade de alavancar seu crescimento econômico, visto o nível de pobreza e de desigualdade que estes países possuem. Para alavancar seu crescimento se faz necessário o consumo de energia e a utilização de recursos naturais, mas o uso deliberado desses recursos pode impactar de forma negativa o meio ambiente. Dito isso a necessidade de se mensurar ecoeficiência para estes países e um meio para isso é utilizando um indicador por através do DEA. Deste modo esta monografia tem como problema de pesquisa para este tema: Quais países alcançam maior ecoeficiência na América Latina?

Esta monografia tem como principal objetivo mensurar a ecoeficiência para os países da América Latina. Desta forma, busca-se demonstrar como ocorre a conversão da riqueza em emissão de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) para os países da região analisada. Além disso, os objetivos secundários foram:

- (1). Analisar os principais indicadores de sustentabilidade ambiental, em destaque para os países da América Latina.
- (2). Estimar um modelo DEA de ecoeficiência para a América Latina.
- (3). Interpretar o ranking de ecoeficiência dos países analisados e estabelecer recomendações políticas.

O reconhecimento das mudanças climáticas que ameaçam o meio ambiente, em escala global, vem ganhando cada vez mais repercussão nas discussões das organizações internacionais.

Segundo Guimarães (1998), na Conferência de Estocolmo em 1972 que surgiram as raízes contemporâneas do conceito de desenvolvimento sustentável, pois foi a primeira vez que se chamou atenção para os efeitos nocivos do processo de desenvolvimento no tecido social e no meio ambiente, momento no qual os tomadores de decisão do mundo todo foram avisados sobre a existência de outros fatores do desenvolvimento, para além do fator econômico.

Assim o receio com questões ambientais cresceu, baseado na observação científica sobre as alterações que os avanços tecnológicos causaram no meio ambiente. Dado que:

“O avanço industrial e tecnológico trouxe consigo diversos benefícios para a humanidade, mas promoveu também a ideia de que os recursos naturais poderiam ser utilizados sem limites e que as consequências poderiam ser remediadas por novas tecnologias, o que não tem se mostrado factível, pelo contrário, tem criado diversas incertezas quanto ao futuro.” (MACHADO e GARRAFA, 2020)

Os perigos ambientais podem ser relacionados às atividades produtivas contemporâneas, para responder aos desafios da sociedade moderna via desenvolvimento tecnológico. Note que a tecnologia pode responder às questões ambientais exigindo mais recursos naturais, o que seria ambientalmente degradante. Por outro lado, a tecnologia pode gerar novas fontes de energia renovável e produtos ambientalmente amigáveis (i.e., carros elétricos, aparelhos eletrônicos que demandem menor consumo de energia, entre outros). Deste modo, é necessário desenvolver um modelo econômico que vise produzir o desenvolvimento sustentável da economia.

Dada a complexidade de se desenvolver modelos econômicos mais sustentáveis, é fundamental a utilização de indicadores para averiguar a performance ambiental dos países. Em outros termos, busca-se avaliar a eficiência ambiental utilizando o arcabouço teórico da sustentabilidade. Assim, os indicadores de eficiência representam uma importante ferramenta para a gestão ambiental, a fim de gerar informação útil para as autoridades e demais formuladores de políticas públicas. Esses indicadores podem ser criados de diversas formas, pois existem vários parâmetros a serem considerados, o que depende da base de dados, relações de causalidade e interpretações qualitativas, históricas e institucionais do fenômeno analisado. Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma maneira de criar estes indicadores.

Através desses indicadores será mensurada a ecoeficiência para a América Latina, visando contribuir para a encontrar as melhores soluções para o modelo econômico dos países dessa região, que aumente a produção e ao mesmo tempo reduza os impactos causados aos ambientes naturais.

Dessa forma, esta monografia visa ser uma ferramenta utilizando o modelo DEA, para que as autoridades possam formular melhores políticas públicas, em que essas proporcionem um crescimento e desenvolvimento sustentável da América Latina, na luta contra a exploração desenfreada do meio ambiente, que causa mudanças climáticas, colocando em risco o futuro das próximas gerações.

## **2. ARCABOUÇO TEÓRICO**

Este segundo tópico apresenta o arcabouço teórico que dará sustentação à esta monografia, a próxima seção traz os conceitos de Sustentabilidade Ambiental e Economia Verde, em seguida o conceito de degradação e os poluentes, em terceiro será abordada América Latina e seu meio ambiente, por fim será apresentado o conceito de Ecoeficiência e Indicadores de Sustentabilidade.

### **2.1 Economia Verde e a Sustentabilidade Ambiental**

As Nações Unidas em 2008, por meio do programa para o meio ambiente, elaboraram o conceito de economia verde. Este programa tem como objetivo analisar a totalidade de ações para a promoção de uma economia com crescimento total, que seja centrada em reduzir os riscos ambientais para conservar o meio natural e manter o bem estar social (PENA, 2023).

Dessa forma a economia verde pode ser entendida como um tipo de crescimento econômico que é ambientalmente sustentável. Esse conceito não é um novo modelo, pois este propósito é preparar o desenvolvimento sustentável por meio da harmonização da imprescindível necessidade dos países em desenvolvimento de crescer de uma forma mais acelerada e a diminuição da pobreza com a exatidão de evitar avarias ambientais irreversíveis e custosos para a sociedade (Banco Mundial, 2012).

Desta forma este conceito vem se tornando um norte para as Ciências Econômicas do século XXI. Uma vez que nos últimos anos o conceito de economia verde tem se

tornado uma prioridade estratégica de diversos governos, a fim de enfrentar os desafios deste século, que são: escassez de recursos, mudanças climáticas, urbanização e a volatilidade econômica.

A Organização da Nações Unidas (ONU) em 1987 definiu o conceito de sustentabilidade, da seguinte maneira:

“Sustentabilidade é atender as necessidades do presente sem prejudicar a capacidade das gerações futuras de atenderem as suas próprias necessidades.” (ONU, 1987).

Desta forma, sustentabilidade ambiental é vista como as necessidades humanas citadas anteriormente, que exigem boa parte dos recursos do meio ambiente. Por meio desta definição, verifica-se que o ser humano compreendeu a importância da limitação das riquezas naturais e a necessidade de uma análise racional do uso destes recursos (NASCIMENTO, 2012).

A fim de alcançar a sustentabilidade, a literatura define um tripé com os pilares social, ambiental e econômico. Esta é a definição do *Triple Bottom Line* (TBL), que é uma idealização da década 1990 para a sustentabilidade. O TBL analisa o impacto econômico, social e ambiental de um país. Estes 3 pilares são sustentados na relação entre a comunidade e as empresas. Apontam como o efeito dos negócios das empresas se relacionam com o crescimento sustentável e suas atividades não prejudicam e colaboram com as gerações que estão por vir, como, por exemplo, na diminuição da emissão de gases ou utilização sustentável de recursos naturais (ELKINGTON, 1997).

Benites e Polo (2013) aplicaram o *Triple Bottom Line* na MASISA, empresa Chilena, em 2010, a Masisa foi apontada no Brasil como uma das vinte empresas modelo em sustentabilidade no País. Desde modo por intermédio da aferição financeira dos projetos e investimentos, dos impactos e dos riscos que o TBL obtém significado, visto que para conseguir o equilíbrio entre fatores sociais, ambientais e econômicos, o sistema padrão a ser utilizado é a moeda corrente (LARA e OLIVEIRA, 2017).



Figura 1- Triple Bottom Line

Fonte: (ELKINGTON, 1997)

*Sustainable Prosperity* (2012) analisou a economia verde no Canadá, concluindo que como todos os países desenvolvidos, tem um longo caminho a percorrer antes que sua economia pudesse ser considerada verdadeiramente verde. No entanto, muito progressos foram feitos nos últimos anos, e há um enorme potencial para o Canadá tornar-se líder em tornar a economia mais verde. Os técnicos do SP acreditam que o retorno será substancial e que servirá tanto à nossa economia interesses ambientais. *Sustainable Prosperity* pretende continuar a jogar um papel na facilitação do diálogo canadense sobre uma economia verde.

Lucon e Goldemberg (2009) analisaram a sustentabilidade no Brasil, concluindo que a crise financeira, no fundo, é mais uma decorrência das crises de sustentabilidade que a história nos apresenta. Houve no passado outras crises, também vinculadas à excessiva exploração de recursos, especulação, inflação e escassez. Os efeitos imediatos foram desaceleração econômica, desemprego, guerras e perdas de vidas. (...). O Brasil é um país com uma imensa riqueza de recursos naturais, mas deve mudar sua trajetória apressadamente, antes que desperdice suas vantagens comparativas.

O tema sustentabilidade é bastante amplo, visto que ela possui alguns tipos: agrícola, empresarial, econômica, social e ambiental. Nesta monografia será evidenciado o tipo ambiental, como visto, a ideia que seja sustentabilidade esteja mais diretamente relacionada com o meio ambiente. Deste modo o foco deste trabalho se dará em torno do seu principal problema a degradação ambiental, vinda da poluição, proveniente da produção de energia emissão de CO<sub>2</sub> e de gases do efeito estufa.

## **2.2 Degradação Ambiental e Poluentes**

No Brasil em sua política nacional do meio ambiente, define-se o conceito de degradação ambiental como a alteração adversa das características do meio ambiente. A despeito de ser abrangente, esse conceito expressa que a degradação ambiental detém um caráter de adversidade, ou seja, ela pode ser definida como avaria ambiental ou efeito ambiental nocivo (eCycle, 2022).

A degradação ambiental pode ser analisada por diversos métodos, sendo um deles o *Ecological Footprint*, que foi criado devido a demanda de mensurar toda a biocapacidade (água, terra, etc.) que é utilizada em certa região e que quantidade a região consegue produzir destes recursos (IKRAM, XIA, *et al.*, 2021).

A degradação do meio ambiente possui duas origens principais, aquelas relacionadas aos modelos de crescimento econômicos das sociedades avançadas e as marcadas pela pobreza. A utilização intensiva da energia derivada da combustão de combustíveis fósseis ou da biomassa gera alguns problemas, como por exemplo a degradação dos mares com os acidentes no transporte de petróleo, a poluição do ar, a degradação de florestas, o aquecimento por efeito estufa e lagos e terras com a chuva ácida (CARLOS M. HERRERA, 1994).

Realizando o levantamento de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) se permitiu identificar as origens de emissão de GEE do setor econômico, de um processo, atividade, organizações e empresas, países, estados e cidades, registrando, monitorando e quantificando anualmente essas atividades. Benefícios do Inventário de GEE: Conquista de outros mercados, do selo ambiental, de oportunidades e avaliação de risco, antecipação à legislação sobre alterações do clima, compensação das emissões de GEE, perspectiva de presença no mercado de carbono. (Eccaplan, 2022)

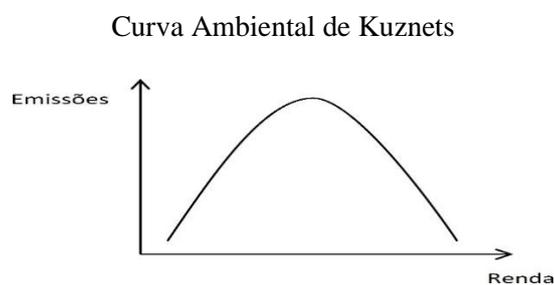
Historicamente o grau de emissão de GEE, distingue-se em países em desenvolvimento e desenvolvidos. Os segundos são países demasiadamente industrializados e que mais emitiram gases poluentes por várias décadas, assim são os grandes responsáveis pelas alterações climáticas notadas no mundo até agora. Entretanto, os países em desenvolvimento têm cada vez mais colaborado com a emissão de GEE na atmosfera, o conjunto desses países têm alcançado a posição de maior emissor atualmente (Banco Mundial, 2015).

Outra ocorrência que atrai atenção é que o aumento da poluição em países em desenvolvimento ocorreu coincidentemente no mesmo momento em que os países desenvolvidos à estabilizaram suas emissões (VALE, PEROBELLI e CHIMELI, 2017). Desta maneira a hipótese de refúgio da poluição se válida, conforme esta hipótese, pode estar ocorrendo uma dispersão de poluição a partir das relações de comércio internacional, pois aparenta ter expandido a exportação de bens intensivos em poluição dos países com menores para os países com maiores regulamentações ambientais (COPELAND e TAYLOR, 2004). Isto ocorre provavelmente, devido a menores custos de se exportar, com relação ao de se implementar a regulação ambiental.

Desde modo se pode afirmar que o crescimento econômico ao longo do tempo está atrelado a maciça emissão de poluentes, visto que na produção de bens materiais

muito rentáveis para a economia e no transporte destes, ou seja, em grande parte da geração de riqueza de uma economia, são utilizados combustíveis fósseis que na sua combustão emitem gases que poluem a atmosfera.

A Curva Ambiental de Kuznets (CAK) apresenta uma relação entre renda e as emissões em forma de U invertido. Em níveis iniciais do crescimento econômico, renda e emissões possuem uma relação direta. Todavia, à medida que a renda aumenta e chega a um dado nível, as emissões inclinam-se a uma trajetória decrescente. Isto se deve, que a partir de níveis superiores de renda, as pessoas ficam dispostas a obter crescimento associado a uma menor degradação do meio ambiente (ÁVILA e DINIZ, 2015).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os países em desenvolvimento para crescer economicamente sem gerar degradação ambiental que impacte negativamente as gerações futuras, possuem maiores desafios que os países desenvolvidos, visto que eles possuem um maior nível de pobreza e de desigualdade, mas não suportam diminuir sua utilização de energia, pois ainda necessitam de instalar sua infraestrutura de transporte, industrial e urbana.

Isso devido a questão energética ser um desafio para os países subdesenvolvidos e em desenvolvimento e assumir caráter de soberania, assim eles precisam expandir economicamente para melhorar seus índices econômicos e eliminar a pobreza. Uma alternativa de respeito aos limites dos ecossistemas e de conservação da energia é a eficiência energética das novas tecnologias, contudo não se instituiu na solução para a marginalização social de grande parcela da humanidade. A sustentabilidade infere uma nova estrutura de poder e social, com um sistema mais ético para conduzir a direitos igualitários e maior qualidade de vida de toda a sociedade global (GUERRA e FANTINELLI, 2001).

## 2.3 América Latina e o Meio Ambiente

A América Latina é grande parte do continente americano, ela compreende a parte central e parte sul da América, situada entre a fronteira entre o México e os Estados Unidos e o conjunto de ilhas localizado no extremo sul da América do Sul, chamada Terra do Fogo. Cerca de 660 milhões de pessoas vivem nessa região. Possui 21.060.501 km<sup>2</sup> de área total resultando em uma densidade demográfica de 31,34 habitantes por km<sup>2</sup> (CEPAL, 2023).

A América Latina entre as primeiras décadas do século XX e os anos de 1980 teve momentos distintos que se caracterizam por crescimento econômico e crise. Entre 1930-1980, a AL, colocou em prática políticas nacionalistas que visavam a industrialização, entre 1980 e 1990, a economia regional se caracterizou por um intenso processo de estreitamento financeiro e comercial imposto pelo imperialismo norte americano. Na década de 1980, o Fundo Monetário Internacional (FMI) impôs sua política a AL, resultando na diminuição da taxa de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) passando de 5,3% em 1980 para 2,8%, em 1985, o PIB per capita retrocedeu em média para 0,6% entre 1981-90. Já a dívida externa da região passou de U\$ 150 bilhões em 1978 para U\$ 332,3 bilhões em 1983 (MUNHOZ, 2002).

Em busca de se obter o desenvolvimento da economia da América Latina, foi fundada a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), para ordenar as ações direcionadas ao seu avanço e para reforçar suas relações econômicas, entre os países da AL e com o restante do mundo (CEPAL, 2023).

Na década de 1990, políticas neoliberais foram implementadas por países latinos, tendo como resultado a piora dos indicadores econômicos, evidenciando o aumento da pobreza e da desigualdade em grande destes países. No período de 1998 a 2003, o PIB da América Latina aumentou apenas 1,4%, enquanto o PIB per capita diminuiu (-) 0,1%. A partir dos anos 2000, a AL foi marcada por uma série de mudanças econômicas e políticas, que se manifestaram na adoção de diferentes modelos de desenvolvimento. Do ponto de vista econômico, a AL apresentou uma melhora significativa nos índices econômicos, o que resultou na aceleração do crescimento associada a uma melhor distribuição de renda e uma redução significativa da pobreza. Assim, enquanto entre 1980 e 2003 o crescimento

econômico da América do Sul foi de 2,8% ao ano, entre 2004 e 2011 o crescimento foi de 5,3% ao ano (SANTOS, 2017).

Os países da América Latina têm em comum um grande problema, que é o ambiente institucional muitas vezes conturbado que impede a aplicação de políticas macroeconômicas, que surtam efeitos benéficos e eficientes. A AL se mantém em um ciclo vicioso dentro da Teoria das Instituições, de North: em que persiste uma instituição política extrativista que fomenta uma economia extrativista, que por sua vez faz com esta instituição política se perpetue cada vez mais no poder, devido grande controle da elite, por ter muito poder e riqueza, e a desigualdade. A baixa eficiência do desse ambiente institucional é uma das causas do retardo do crescimento econômico dos países latinos. O conjunto de ambiente pouco eficiente, má coordenação de políticas monetárias e fiscais, corrupção, níveis de capital humano baixo, instabilidade fiscal, geografia desvantajosa, uma infraestrutura ruim, direitos de propriedade, entre outros, influenciam negativamente no crescimento desses países (ANTUNES, 2021).

Gráfico com a evolução do crescimento do PIB na AL, de 2009 a 2019:

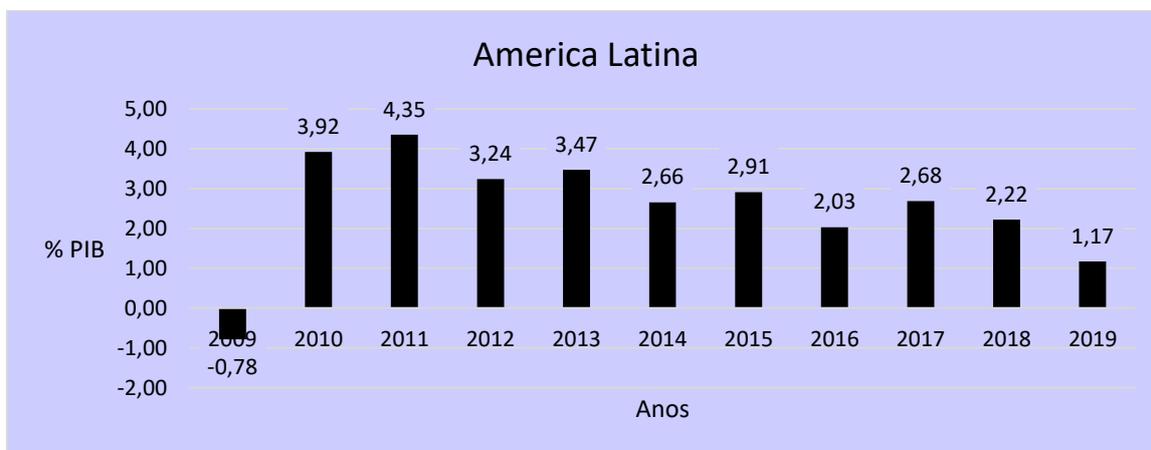


Gráfico-2

Fonte: Banco Mundial (16/09/2022)

A partir de 1950 as emissões globais de CO<sub>2</sub> provenientes da queima de combustíveis fósseis se elevaram de forma significativa. Já em 2003, as emissões globais de carbono atingiram 9,776 gigatoneladas (Gt) de carbono. A combustão do carvão na atualidade é responsável por cerca de 42% das emissões globais de carbono, enquanto os combustíveis líquidos (principalmente petróleo) são a fonte de outros 33%, já a queima

de gás natural é responsável por 19% e 6% na produção de cimento e combustão de gás (HARRIS, ROACH e CODUR, 2007).

Nos países da América Latina os impactos das emissões de carbono são sentidos a partir de fenômenos de várias naturezas, tais como: escassez de água em determinadas regiões, chuvas torrenciais, inundações, deslizamentos de terras, acidificação dos oceanos e danos aos corais (SOARES, 2018).

Identificar os efeitos ambientais provocados pelo crescimento econômico nos países da latino será um passo importante para a elaboração de políticas públicas que busquem melhorar o processo de crescimento com maior eficácia na preservação do meio ambiente. Para alguns autores que estudam sobre o tema, uma das principais consequências da degradação ambiental provocada pelo crescimento desses países está no alto nível de emissões de GEE, poderá gerar no longo prazo impactos muito negativos sobre o desenvolvimento econômico dessas áreas, dado que o crescimento econômico necessita que os recursos naturais disponíveis estejam em boas condições (BLANCO, 2012).

**Tabela 1** - Com os Top-5 países com a maior variação (%) no seu crescimento econômico da América Latina:

<b>País/Ano</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>Média</b>
<b>Panamá</b>	1,24	5,83	11,31	9,78	6,90	5,07	5,73	4,95	5,59	3,69	2,98	5,73
<b>República Dominicana</b>	0,95	8,34	3,13	2,72	4,88	7,05	6,93	6,66	4,67	6,98	5,05	5,21
<b>Bolívia</b>	3,36	4,13	5,20	5,12	6,80	5,46	4,86	4,26	4,20	4,22	2,22	4,53
<b>Peru</b>	1,10	8,33	6,33	6,14	5,85	2,38	3,25	3,95	2,52	3,97	2,24	4,19
<b>Paraguai</b>	-0,26	11,10	4,29	-0,71	8,29	5,30	2,96	4,27	4,81	3,20	-0,40	3,89

Fonte: Banco Mundial (16/09/2022)

**Tabela 2** - Com os Top-5 países com maior variação (%) em emissão de CO2 da América Latina:

<b>País/Ano</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>Média</b>
<b>Belize</b>	1,920	0,616	0,196	0,000	-0,313	0,043	0,417	-0,044	-0,015	-0,016	0,016	0,144
<b>Granada</b>	1,793	0,642	0,069	0,323	-0,220	-0,219	0,080	0,037	0,036	0,103	0,031	0,127
<b>Barbados</b>	1,596	0,665	0,135	0,205	-0,321	-0,118	0,000	0,016	-0,085	0,051	0,008	0,075
<b>Paraguai</b>	0,058	0,103	0,036	-0,008	0,023	0,062	0,131	0,127	0,123	0,051	-0,031	0,061
<b>Panamá</b>	0,192	0,056	0,087	0,047	-0,020	0,050	-0,006	0,007	-0,059	-0,007	0,326	0,061

Fonte: Banco Mundial (16/09/2022)

Paraguai e Panamá, são os países que se coincidem nesses dois TOP-5, o que faz pensar, que existe uma grande correlação entre as emissões de Co2 e o PIB.

Souza e Tabosa (2019), analisaram a degradação ambiental na América Latina e concluindo que nos países da AL existe uma necessidade de implementar medidas que promovam a conciliação do crescimento econômico com a diminuição da emissão gases de poluentes, tanto no setor rural quanto na economia como um todo. Nota-se, portanto, a necessidade de utilização de novas técnicas de trabalho e tecnologias que proporcionem uma menor deterioração dos recursos naturais.

Pinto e Coronel (2013), analisaram a degradação ambiental no Brasil, verificando que a degradação do meio ambiente brasileiro é uma questão agravante. Isso visto que existem muitas regiões degradadas dentro do país que abrangem causas ligadas a aspectos como os impactos do agronegócio, a pobreza e o clima. Entre as regiões mais afetadas pela degradação, evidências empíricas mostram que, além de Minas Gerais, alguns estados do Nordeste e Centro-Oeste também apresentam altos níveis de degradação ambiental. No entanto, apesar das diferentes regiões com elevado ID, este fenômeno parece apresentar alguma heterogeneidade ao longo do país, com regiões com baixos índices de degradação ambiental a contrastar com regiões com elevados índices para este fenômeno. A própria solução proposta na literatura de economia agrícola e ambiental é a agroecologia. Trata-se de um conjunto de técnicas e práticas agrícolas que conciliam a questão da produtividade com o impacto no meio ambiente, pensando não só na produção de hoje, mas também para as próximas gerações.

Como foi visto a emissão de CO2 e o crescimento econômico, possuem uma grande relação entre si. Desta maneira se faz necessário uma ferramenta para se mensurar esta relação, para que se possa ter uma análise mais clara e objetiva. Deste modo uma excelente ferramenta para tal, são os indicadores de sustentabilidade.

Os indicadores podem desempenhar muitas funções: por um lado, podem conduzir a melhores decisões e a políticas mais eficazes, uma vez que esclarecem e fornecem informação agregada aos decisores. Por outro lado, permitem incorporar percepções das ciências naturais e sociais na tomada de decisões e, assim, ajudar a medir e ajustar o progresso em direção aos objetivos de desenvolvimento sustentável (*UNITED NATIONS*, 2007).

## 2.4 Ecoeficiência e Indicadores de Sustentabilidade

Os indicadores de sustentabilidade são instrumentos de monitoramento da operacionalização do desenvolvimento sustentável. Sua principal função é fornecer informações sobre o estado das diferentes dimensões (econômica, ambiental, socioeconômica, institucional, cultural, etc.) que constituem o desenvolvimento sustentável do sistema na sociedade (CARVALHO, CURI, *et al.*, 2011).

A utilização de indicadores visa coletar e quantificar informações de forma a enfatizar sua importância, simplificar informações sobre fenômenos complexos e melhorar o processo de comunicação (VAN BELLEN, 2002). Os indicadores também têm sido utilizados em diversos estudos nacionais e internacionais como ferramenta padrão para compreender informações sobre fenômenos complexos, pois permitem mensurar o impacto das ações humanas sobre o ecossistema (SILVA, CORREIA e CÂNDIDO, 2010).

O termo ecoeficiência foi adotado em 1992 pelo Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD- da abreviatura em inglês, *World Business Council for Sustainable Development*) por meio da publicação do livro *Mudando de Rumo* e endossado pela Conferência Rio (1992) como uma forma de as organizações efetivarem a Agenda 21 no setor privado (ECOEFICIENTES, 2022).

De acordo com o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD), a ecoeficiência é alcançada por meio do fornecimento de bens e serviços a preços competitivos que atendam às necessidades humanas e tragam qualidade de vida, reduzindo progressivamente o impacto ambiental e o consumo de recursos. ao longo do ciclo de vida, um nível pelo menos igual à capacidade de suporte estimada da Terra.

Os indicadores de sustentabilidade têm como principais vantagens as seguintes:

1. Eles ajudam os tomadores de decisão a entender melhor operacionalmente o que significa o conceito de desenvolvimento sustentável e funcionam como ferramentas explicativas pedagógicas e educacionais;

2. Ajudam a selecionar alternativas políticas e a alinhar-se com os objetivos relacionados à sustentabilidade. As ferramentas orientam os tomadores de decisão e atuam como ferramentas de planejamento ao escolher cursos de ação alternativos;

3. Avaliar o grau de sucesso na consecução dos objetivos definidos relacionados com o desenvolvimento sustentável, sendo estas medidas instrumentos de avaliação (VAN BELLEN, 2005).

Bossel (1999) argumenta que uma das desvantagens dos indicadores de sustentabilidade é a perda de informações importantes. O autor parafraseia o físico Albert Einstein quando diz que um indicador deve ser o mais simples possível, mas não mais simples. Ele critica a abordagem de resumir todas as informações em apenas um índice. Este autor utiliza a ideia atualmente dominante de mensuração da riqueza a partir do conceito de Produto Interno Bruto (PIB) e mostra como esse indicador pode ser limitado. Na vida real, ele acredita, ser preciso mais de um indicador para captar os aspectos mais importantes de uma situação. Um simples indicador não é capaz de representar toda a realidade.

Para Bossel (1999), grande parte dos indicadores de sustentabilidade não possui um arcabouço teórico conceitual que pondere a viabilidade e o funcionamento do sistema como um todo; eles normalmente retratam a experiência e as preferências de pesquisa dos especialistas. Por isso, às vezes são excessivamente densos em algumas áreas e dispersos ou nulos em outras áreas igualmente importantes. Esse tipo de indicadores não são sistemáticos e não retratam as interações entre o meio ambiente e a sociedade no sistema global.

Gomes, Mello e Mangabeira (2007), analisaram a sustentabilidade agrícola em um município amazônico a partir da Análise Envoltória de Dados (DEA). Assim foi feita uma análise temporal com a confrontação das DMUs eficientes em um único modelo, o que sugeriu que não há sustentabilidade econômica nem ambiental. Deste modo foi recomendado que deve ser feita uma grande alteração das políticas públicas nesta região. Foi visto que uma análise do modelo dos multiplicadores apresenta igualmente resultados significativos. Constatou-se que a variável ambiental considerada (área florestal), mesmo que sua importância relativa seja maior que a renda bruta, é um fator limitante para a sustentabilidade dos agricultores (devido ao aumento do número de pesos zero na região). Em termos econômicos, a variável trabalho manteve-se como fator limitante.

Roiz, et al., (2020), analisou a transformação das taxas ambientais em indicadores de Economia Circular. Obteve os seguintes resultados: o país mais eficiente para o indicador global da Economia Circular foi a Áustria. Porém, a análise por dimensões expôs que o posicionamento no ranking é muito volátil, tendo países pouco eficientes globalmente, mas com boa colocação no ranking em dimensões específicas. Contudo, o artigo não esgotou o tema analisado. Estudos posteriores podem responder às limitações apresentadas por este artigo como, por exemplo, promover a análise por meio da evolução temporal. Além do mais, estudos posteriores podem tratar a combinação das taxas ambientais com o Produto Interno Bruto (PIB) de cada país, o que pode produzir resultados diferentes.

Martins (2022) analisou a eficiência ambiental agrícola e econômica dos países participantes do BRICS, realizando uma confrontação entre os países que compõem o BRICS, por intermédio da construção de janelas e múltiplas aplicações do modelo DEA-SBM Variante, com o propósito de se estimar a Ecoeficiência dos países em converter os inputs (uso de energia e emprego na agricultura, uso de pesticidas e fertilizantes, terras agrícolas) em crescimento econômico. Sem causar danificações ao meio ambiente com crescimento de emissões de CO<sub>2</sub>. O estudo obteve o seguinte resultado: a Rússia teve a maior ecoeficiência média (84,8%) ao durante o período de análise, seguida dos países China, Índia, Brasil e África do Sul.

Gimenes, Gameiro e Mariano (2018), analisaram capacidade de transformação de demanda ambiental em riqueza econômica para os países da América Latina, assim avaliaram a eficiência ambiental dos países da AL considerando um modelo teórico definido pela conversão da demanda natural em riqueza econômica, considerando dois subprodutos indesejáveis que internacionalmente são classificados como grandes geradores de passivo ambiental. Foi determinado um modelo teórico novo, utilizando quatro variáveis, divididas em um input controlável – demanda natural, representada pela pegada ecológica -, um output desejável – riqueza econômica, representada pelo PIB – e dois outputs indesejáveis – emissão de gases do efeito estufa e geração de resíduos sólidos urbanos. Foi possível analisar o desempenho dos países e identificar algumas relações entre as variáveis do modelo e algumas características externas que auxiliam no desenvolvimento da análise dos resultados.

**Quadro 1-** Referente aos artigos apresentados anteriormente:

Indicador	Fonte	Input	Output	Países Analisados
DEA	Embrapa	Custo total (em R\$). Área total do lote (em ha) Uso total de mão-de-obra (em dias homens)	Área total com mata (ha) Receita bruta (R\$)	Brasil
DEA	Eurostat	Taxa de reciclagem de lixo eletrônico Taxa de uso de material Taxa de reciclagem de resíduos de embalagens por tipo de embalagem	Produtividade de recursos e consumo de material doméstico Geração de resíduos municipais per capita Circular Investimentos privados, emprego e valor agregado bruto relacionados aos setores da economia circular Comércio de matérias-primas recicláveis Patentes relacionadas à reciclagem e matérias-primas secundárias	Áustria, Suécia, Espanha, Bélgica, Croácia, Eslovênia, Portugal, Bulgária, Eslováquia, Estônia, Holanda Romênia, Alemanha, Itália, França, Finlândia, Hungria, Grécia e Dinamarca
DEA	Banco Mundial FAO	Uso de Pesticidas Uso de Energia na Agricultura Uso de Fertilizantes Terra agrícola Emprego na Agricultura	Emissões de CO2 e da Agricultura (indesejável) Valor da Produção Agrícola (desejável)	África do Sul, Brasil, China, Índia e Rússia
DEA	Banco Mundial, a ONU, o World Resources Institute e a Global Footprint Network	EF (x3): input controlável que representa o consumo de recursos naturais de um país em todas as atividades desenvolvidas em seu interior	PIB (y1): output desejável que representa a riqueza econômica gerada como resultado de todas as atividades produtivas realizadas dentro do país. MSW (x1): output indesejável que representa a geração de resíduos sólidos urbanos. GHG (x2): output indesejável que representa a emissão de gases do efeito estufa.	Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Equador, El Salvador, Haiti, Honduras, Jamaica, México, Panamá, Paraguai, Peru, Uruguai e a Venezuela

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3. MÉTODO

A região analisada será a América Latina, dentro dessa região serão analisados 26 países. Sendo estes: Argentina, Barbados, Belize, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Equador, El Salvador, Granada, Guatemala, Guiana, Haiti, Honduras, Jamaica, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, República Dominicana, Trinidad e Tobago, Uruguai e a Venezuela. O período a ser analisado será do ano de 2014, por ser o mais recente. Estes países e este período foram selecionados para análise, devido a sua disponibilidade na base de dados da CEPAL e Banco Mundial.

Será utilizada estas bases de dados por elas serem referência quando se trabalha com dados da América Latina e por conter às variáveis de interesse desse projeto. Que são: Emissão de CO<sub>2</sub>; Emissão de GEE; Produção de energia; PIB. Exemplificando melhor cada uma delas:

#### Emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

Este indicador fornece informações sobre as emissões de CO<sub>2</sub> geradas pela combustão de combustíveis fósseis, produção de cimento. O CO<sub>2</sub> é um gás incolor, inodoro e não venenoso que emerge da combustão de combustíveis fósseis e normalmente faz parte do ar ambiente. É considerado o gás de efeito estufa que mais contribui para as mudanças climáticas.

#### Emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE)

Este indicador fornece informações sobre as emissões de GEE per capita. Os gases compreendem em metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (NO<sub>2</sub>), hidrofluorcarbonos (HFCs), hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) e perfluorcarbonos (PFCs) gerados por atividades realizadas nos seguintes setores: energia, processos industriais, agricultura, resíduos e combustíveis de *bunker*.

#### Produção de energia

Este indicador fornece informações sobre o consumo de energia total, primária e secundária em um país. O consumo de energia primária corresponde à produção mais importações menos exportações, mais variações de estoques e menos perdas de

distribuição de todos os produtos de energia primária. São apresentadas informações sobre o consumo de gás natural, madeira e bagaço.

Enquanto isso, o consumo de energia secundária refere-se à produção, mais importações, menos exportações, mais variações de estoques, menos perdas de distribuição de todos os produtos de energia secundária (que são o resultado da transformação de energia primária).

O consumo total de energia, também conhecido como consumo final, mostra toda a energia consumida para outros fins que não a conversão ou produção de energia. Este consumo inclui produtos primários e secundários, mas apenas os destinados ao consumo final. A energia para a mineração e produção de energia que não faz parte do processo de transformação também está incluída.

Energia primária correspondente a diferentes fontes de energia, obtidas na natureza, quer seja de forma direta como no caso das hidrelétricas, eólica e solar, madeira e demais combustíveis vegetais, quer seja após um procedimento de extração como no caso do carvão, petróleo, energia geotérmica, energia, etc.

Energia secundária: corresponde aos diferentes produtos energéticos provenientes da conversão de produtos energéticos primários; tem como destino diversos setores de consumo e/ou centros de processamento (como no caso da gasolina, eletricidade e gás liquefeito, etc.). Este indicador apresenta informações sobre a produção de energia primária e secundária nos países da região.

#### Produto Interno Bruto (PIB)

O PIB em termos de preços/volumes constantes é o valor do fluxo de serviços e bens em um país a preços de mercado para um ano-base, neste caso 2010, que reflete as variações apenas devido à variação de volume, isolando os devidos a variações de preços. Os valores estão em dólares dos Estados Unidos, utilizando a taxa de câmbio correspondente ao ano de 2010, publicada pela CEPAL. Totais regionais e sub-regionais baseados em dados disponíveis para os países da região.

O método a ser utilizado nesse projeto será a *Data Envelopment Analysis (DEA)*-Análise Envoltória de Dados., pode ser definido como um método não paramétrico, quantitativo e empírico, que estima o desempenho relativo de unidades organizacionais semelhantes, produzindo um único indicador de desempenho para cada unidade sob

avaliação, a partir da relação ponderada entre insumos e produtos. De forma técnica, a DEA aplica a otimização de programação linear para gerar uma ‘superfície envoltória’ de máximo desempenho ou fronteira de produção empírica (Ali & Seiford, 1993).

Dentro da DEA há diferentes modelos, que possibilitam diversas interpretações, em que os dois modelos principais são:

Modelo CCR(1978) - desenvolvido Charnes, Cooper e Rhodes, permite uma avaliação objetiva da eficiência global e identifica as fontes e estimativas de cones das ineficiências identificadas.

Modelo BCC (1984) – criado por Banker, Charnes e Cooper, distingue entre ineficiências e de escala, estimando a eficiência técnica pura, a uma dada escala de operações, e identificando se estão presentes ganhos de escala crescentes, decrescentes e constantes, para futura exploração. (Charnes, Cooper, Lewin, & Seiford, 1997)

A DEA é um método da estatística não paramétrico que calcula a eficiência de unidades de tomada de decisão, no inglês *Decision Making Units* (DMUs), aferindo as entidades que desempenham tarefas similares e se distinguem pela quantidade de recursos consumidos (*inputs*) e de bens produzidos (*outputs*). DEA é um método adequado tanto para inferir a eficiência relativa das DMUs quanto para a determinação de metas para DMUs apontadas como ineficientes. As DMUs são relacionadas de acordo com a definição de eficiência de Farrel (Farrel & Fieldhouse, 1962), que equivale a razão entre a somatório ponderado dos outputs  $\mathbf{y}$  e o somatório ponderado dos inputs  $\mathbf{x}$  de cada DMU. As variáveis de determinação são o vetor  $\mathbf{u}$ , que retrata os pesos referentes aos outputs  $\mathbf{y}$ , e o vetor  $\mathbf{v}$ , que retrata os pesos referentes aos inputs  $\mathbf{x}$ . (AVELLAR, MILIONI e RABELLO, 2005)

Resultando no seguinte modelo:

$$\text{Máx } h_o = \frac{\sum_{j=1}^s u_j Y_{j0}}{\sum_{i=1}^r v_i X_{i0}} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{j=1}^s u_j Y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i X_{ik}} \leq 1, k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

$$U_i, v_i \geq \forall j, i \quad (3)$$

Dado que:

$n$  = quantidade total de DMU

$r$  = quantidade total de inputs

$h_0$  = eficiência da DMU 0 (zero)

$s$  = quantidade total de outputs

$X_{ik}$  = quantidade de input  $i$  para a DMU $k$

$Y_{jk}$  = quantidade de output  $j$  para DMU $k$

$v_i$  = peso referente ao input  $i$

$u_j$  = peso referente ao input  $j$

$X_{i0}$  = quantidade de output  $i$  para a DMU 0 (DMU observada)

$Y_{j0}$  = quantidade de output  $j$  para a DMU 0 (DMU observada)

**Quadro 2-** Descrição das variáveis analisadas

Nome da Variável	Descrição	Input/Output	Fonte
Emissão de CO <sub>2</sub>	Emissões de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) geradas pela combustão de combustíveis fósseis	Input	CEPAL (2022)
Emissões GEE	Gases de efeito estufa, em uma área, por um período determinado, per capita.	Input	CEPAL (2022)
Produção de energia	Consumo de energia total, primária e secundária em um país.	Output	CEPAL (2022)
Produto Interno Bruto	PIB em termos de preços/volumes constantes é o valor do fluxo de serviços e bens em um país a preços de mercado para o ano-base 2010.	Output	CEPAL (2022)

Fonte: Elaborado pelo autor

## 4. Resultados

Esta seção dispõe os resultados alcançados pelo modelo DEA. O modelo utilizou informações para 26 países da América Latina com base nos dados apurados no Banco

Mundial (2014) e CEPAL (2014). Os países analisados foram: Argentina, Barbados, Belize, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Equador, El Salvador, Granada, Guatemala, Guiana, Haiti, Honduras, Jamaica, México, Nicarágua, Panamá, Peru, República Dominicana, Trinidad e Tobago, Uruguai e a Venezuela.

A finalidade da ecoeficiência é usufruir dos recursos naturais de forma não predatória, ou seja, de forma mais consciente procurando produzir em maior quantidade com menos recursos naturais. O Índice de Ecoeficiência (IE) alterna entre 0 e 1. Desta forma, será mais ecoeficiente o país quanto mais próximo de 1 for o IE. Ele é importante porque demonstra a importância dos fatores ambientais, procurando reduzir os impactos ambientais provocados pelas atividades produtivas e colaborar para que as gerações futuras consigam desfrutar dos recursos naturais (MACIELA e KHAN, 2017).

A partir das estatísticas é possível perceber o destaque do Brasil na América Latina, pois era a sétima maior economia do mundo no ano de 2014, dado que também se trata de um país que já possui um certo nível de desenvolvimento, sendo o país com a maior extensão territorial e populacional da AL. Em contra partida, boa parte dos países deste estudo se tratam de economias com pouca participação no PIB da América Latina, por serem países pequenos, pouco populosos e de baixo desenvolvimento.

**Tabela 3-** Estatísticas sobre *Input e Output*

	<b>CO2</b>	<b>GEE</b>	<b>PRODUÇÃO DE ENERGIA</b>	<b>PIB</b>
<b>Max</b>	486840,00	1118099,98	3364381,31	2455993,63
<b>Min</b>	320,00	1280,00	189,34	911,50
<b>Média</b>	67112,31	129074,61	440332,37	241766,33

Fonte: Elaborado pelo autor.

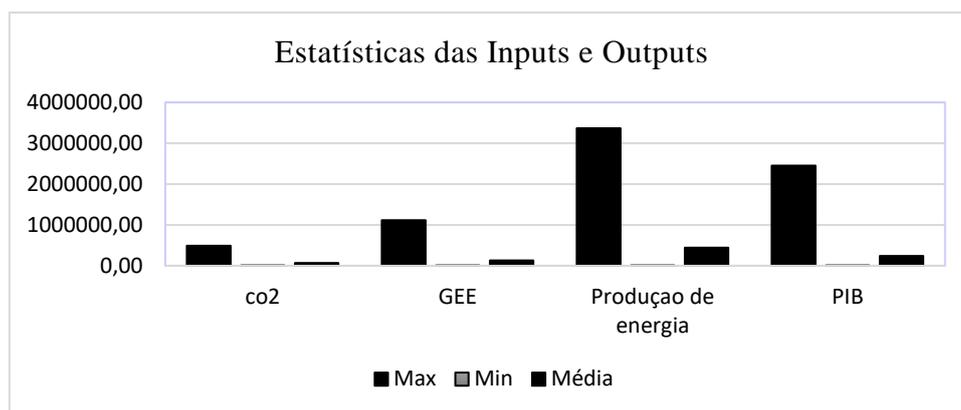


Gráfico 3

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 4 traz a correlação das variáveis analisadas neste presente estudo, em que todas elas demonstram uma alta correlação entre si.

**Tabela 4** - Correlação das variáveis

Variáveis	CO2	GEE	ENERGIA	PIB
<b>CO2</b>	1	0,964523065	0,939928207	0,949264016
<b>GEE</b>	0,964523065	1	0,967617231	0,986684073
<b>ENERGIA</b>	0,939928207	0,967617231	1	0,938837165
<b>PIB</b>	0,949264016	0,986684073	0,938837165	1

Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 5 demonstra a pontuação que os países alcançaram por meio da análise do Índice de Ecoeficiência na América Latina. A partir desta análise foi possível identificar os países que possuem índices de eficiência crescentes, decrescentes ou retornos constantes de escala. A análise revela que os países com retorno constante são: Colômbia, Costa Rica, Paraguai, Trinidad e Tobago e Uruguai. Isto revela que para cada unidade de input haverá o aumento de uma unidade de output no índice de ecoeficiência. Ademais, os países com retorno de escala decrescente são: Argentina, Brasil, Chile, Cuba, Guatemala, México, Panamá, Peru, República Dominicana e a Venezuela. Isto demonstra que para cada unidade adicional de input haverá uma quantidade inferior de output no indicador de ecoeficiência. Finalmente, os países com retorno de escala crescente são: Barbados, Belize, Bolívia, Equador, El Salvador, Granada, Guiana, Haiti, Honduras, Jamaica e a Nicarágua. Esta análise revela que para cada unidade adicional de input haverá uma quantidade superior de output para o indicador de ecoeficiência.

**Tabela 5** - Ranking do Índice de Eficiência dos países da América Latina

<b>DMU</b>	<b>Pontuação</b>	<b>Classificação</b>
<b>Belize</b>	1	1
<b>Brasil</b>	1	1
<b>Chile</b>	1	1
<b>Colômbia</b>	1	1
<b>Costa Rica</b>	1	1
<b>Paraguai</b>	1	1
<b>Trinidad e Tobago</b>	1	1
<b>Uruguai</b>	1	1
<b>Venezuela</b>	1	1
<b>Granada</b>	0,9997	2
<b>Haiti</b>	0,9696	3
<b>México</b>	0,963	4
<b>Peru</b>	0,8753	5
<b>Panamá</b>	0,8349	6
<b>Guatemala</b>	0,7424	7
<b>Republica Dominicana</b>	0,6827	8
<b>Cuba</b>	0,6718	9
<b>Bolívia</b>	0,6509	10
<b>Argentina</b>	0,6453	11
<b>Equador</b>	0,5928	12
<b>El Salvador</b>	0,5396	13
<b>Barbados</b>	0,5187	14
<b>Jamaica</b>	0,4964	15
<b>Nicaragua</b>	0,4197	16
<b>Honduras</b>	0,3389	17
<b>Guiana</b>	0,324	18

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 4 ilustra o nível de eficiência ambiental que cada país apresentou por meio do modelo DEA.

O Gráfico 4 mostra que os países com maior ecoeficiência são Belize, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Paraguai, Trinidad e Tobago, Uruguai e a Venezuela. Em seguida, encontram-se os países com nível de ecoeficiência intermediária, a saber: Granada, Haiti, México, Peru, Panamá, Guatemala, República Dominicana, Cuba, Bolívia, Argentina, Equador, El Salvador, Barbados e a Jamaica. Ademais, os países com a pior ecoeficiência foram Nicarágua, Honduras e a Guiana.

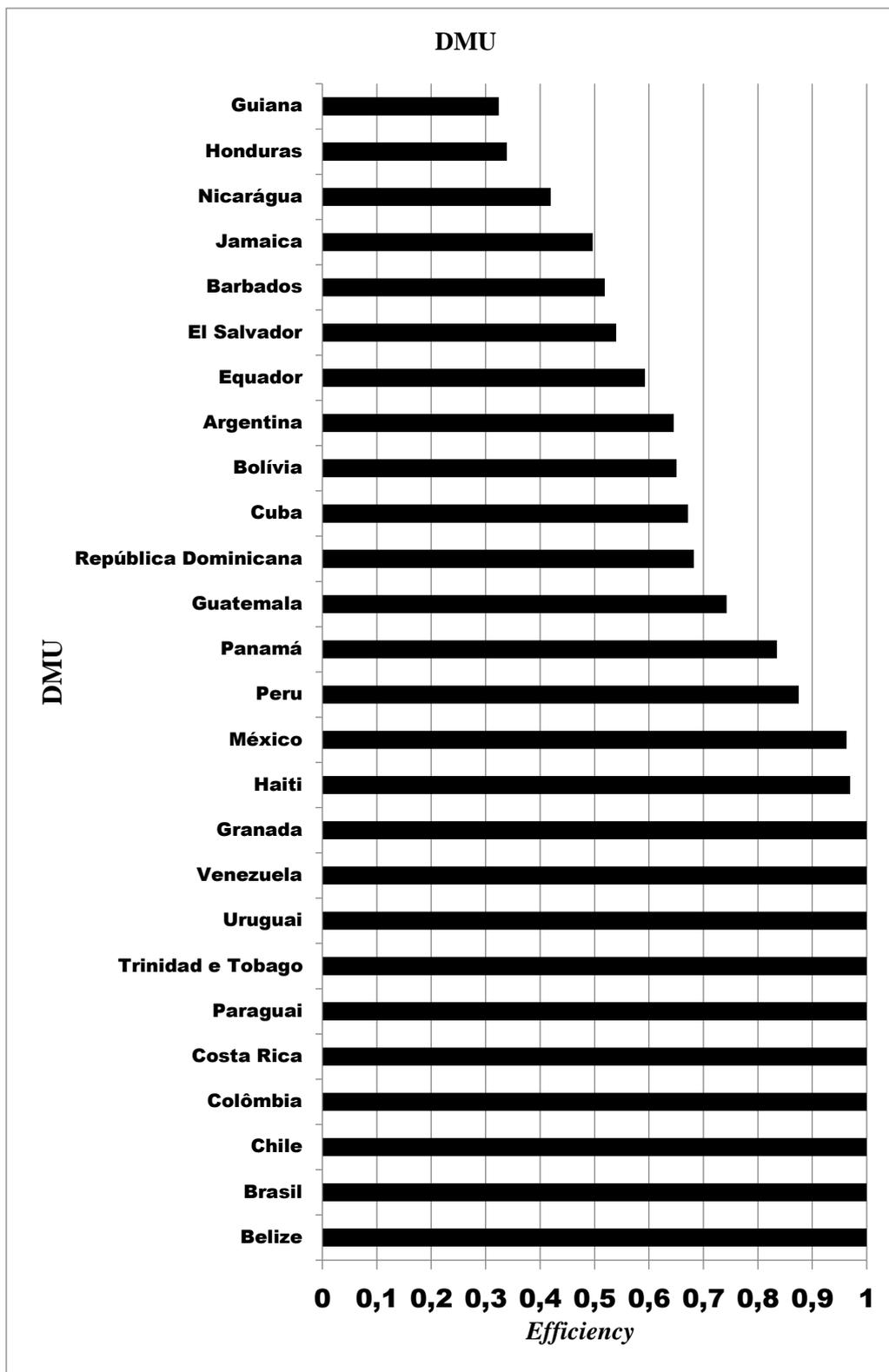


Gráfico 4 – Índice de Eficiência dos Países da América Latina  
 Fonte: Elaborado pelo autor

Gimenes, Gameiro e Mariano (2018) analisaram capacidade de transformação de recursos ambientais em capital dos países da América Latina, a partir de dados do Banco

Mundial do ano de 2013 e seus resultados foram parecidos aos deste estudo. Segundo os autores, os cinco países da Fronteira de Eficiência foram: Brasil, Colômbia, Costa Rica, Uruguai e Venezuela. Outros três países atingiram níveis de eficiência superiores a 90%, como foi o caso de Argentina, Chile e Panamá. Porém, excluindo esses oito países que tiveram desempenho consideravelmente bom, a discrepância dentro dos resultados obtidos pelos demais países da AL foi elevada, o que deflagra a desigualdade que existe dentro da região. Paraguai, Haiti, Honduras e a Bolívia apresentaram os piores desempenhos, não atingindo nem mesmo 40% de eficiência na conversão da demanda de recursos naturais em riqueza econômica.

### Quadro 3 - Benchmarking dos Países Ineficientes

<b>Países Ineficientes</b>	<b>Benchmarking</b>
<b>Argentina</b>	Brasil, Chile, Colômbia
<b>Barbados</b>	Belize, Costa Rica, Uruguai
<b>Bolívia</b>	Colômbia, Paraguai, Trinidad e Tobago
<b>Cuba</b>	Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica
<b>Equador</b>	Belize, Colômbia, Costa Rica
<b>El Salvador</b>	Belize, Costa Rica
<b>Guatemala</b>	Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica
<b>Granada</b>	Não possui
<b>Guiana</b>	Belize, Costa Rica, Uruguai
<b>Haiti</b>	Belize, Colômbia, Costa Rica, Paraguai
<b>Honduras</b>	Belize, Colômbia, Costa Rica, Paraguai
<b>Jamaica</b>	Belize, Colômbia, Costa Rica
<b>México</b>	Brasil, Colômbia, Venezuela
<b>Nicarágua</b>	Belize, Colômbia, Costa Rica, Paraguai
<b>Panamá</b>	Chile, Costa Rica
<b>Peru</b>	Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica
<b>República Dominicana</b>	Brasil, Chile, Costa Rica

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como resultados este presente estudo obteve que ao todo 9 países foram eficientes (34%) e 17 países ineficientes (64%), para o ano de 2014 com relação a América Latina. Para que estes países alcancem a ecoeficiência, os formuladores de políticas públicas podem tomar os países eficientes como benchmarks. Em outros termos, os governos ineficientes devem copiar estratégias ambientais dos países eficientes com características similares. Desta forma, verifica-se que, por exemplo, a Jamaica possui como benchmark Belize, Colômbia e a Costa Rica. Outra amostra é o caso do Equador, que tem como

benchmarks Belize, Colômbia e a Costa Rica. Interessante notar que Granada não possui benchmarks, provavelmente, devido à falta de uma DMU com características similares.

## CONCLUSÃO

A América Latina tem como objetivo obter um nível satisfatório de crescimento de sua economia para que alcance o desenvolvimento econômico, mas com baixo impacto sobre o meio ambiente, para não prejudicar as gerações que ainda viram. Diante disso, o exposto estudo teve como finalidade contribuir com a literatura por meio da construção de um Índice de Ecoeficiência para 26 países latino-americanos, a partir de uma Análise Envoltória de Dados (DEA). O desenvolvimento desta análise foi motivado pela necessidade de melhorar a gestão de recursos naturais dos países em desenvolvimento, proporcionando uma relação sustentável entre crescimento econômico e preservação ambiental.

As autoridades públicas destes países necessitam uma ferramenta para analisar a performance da economia em relação ao desenvolvimento sustentável. Deste modo, o presente estudo construiu um Índice de Ecoeficiência para servir como parâmetro para os elaboradores de políticas públicas, o que possibilita a melhor gestão dos países considerados ineficientes, principalmente para os menos eficientes. A principal contribuição desta monografia foi elaborar um ranking dos países e demonstrar os *benchmarks* para as regiões ineficientes. Desta forma, as unidades tomadoras de decisão ineficientes podem tomar como referência os países eficientes e com aspectos similares. Isto garante maior eficácia na formulação de políticas para que a América Latina obtenha um desenvolvimento sustentável.

Embora este estudo tenha contribuído para resolver o problema proposto, algumas limitações podem ser observadas. Primeiro, o Índice de Ecoeficiência vai apenas de 0 a 1, em que os países que chegam até o valor máximo 1 significa que são ecoeficientes. Entretanto, isso não significa que esses países ainda não possam melhorar a relação entre crescimento econômico e preservação ambiental. Possíveis estudos futuros podem analisar com profundidade cada país (estudos de caso), a fim de entender os processos que explicam a eficiência ou a ineficiência regional. Terceiro, uma análise regional para cada país serviria para analisar regiões com forte disparidade regional, como é o caso do

Brasil. Assim, os países podem realizar políticas públicas em áreas específicas e propor melhorias na ecoeficiência de toda a região.

## Referências

AMBIENTE, Ministério D. M. Indicadores Ambientais. Ministério do Meio Ambiente, 13 jun. 2022. Disponível em: [https://antigo.mma.gov.br/informacoes-ambientais/indicadores-](https://antigo.mma.gov.br/informacoes-ambientais/indicadores-ambientais.html#:~:text=Indicadores%20ambientais%20s%C3%A3o%20estat%C3%A)

[ambientais.html#:~:text=Indicadores%20ambientais%20s%C3%A3o%20estat%C3%A](https://antigo.mma.gov.br/informacoes-ambientais/indicadores-ambientais.html#:~:text=Indicadores%20ambientais%20s%C3%A3o%20estat%C3%A)  
[Dsticas%20selecionadas,e%20de%20atividades%20humanas%20relacionadas.](https://antigo.mma.gov.br/informacoes-ambientais/indicadores-ambientais.html#:~:text=Indicadores%20ambientais%20s%C3%A3o%20estat%C3%A)

ANTUNES, FRANCISCO. América Latina. Uma análise do ambiente institucional, de investimento e de crescimento econômico, 2021. 43.

AQUINO, Afonso R. D. et al. Sustentabilidade Ambiental. Rio de Janeiro: [S.n.], 2015.

AVELLAR, José V. G. D.; MILIONI, Armando Z.; RABELLO, Tania N. Modelos DEA com variáveis limitadas ou soma constante. Scielo Brasil, 1 abr. 2005.

ÁVILA, Ednilson S. D.; DINIZ, Eliezer M. Evidências sobre curva ambiental de Kuznets e convergência das emissões. Scielo, 2015.

BANK, World. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/6058>. world bank group, 2012. Acesso em: 2023.

BELLEN, HANS M. V. Indicadores de Sustentabilidade: Uma Análise Comparativa. Rio de Janeiro: FGV, 2005.

BENITES, Lira L. L.; POLO, Edison F. A SUSTENTABILIDADE COMO FERRAMENTA ESTRATÉGICA EMPRESARIAL: GOVERNANÇA CORPORATIVA E APLICAÇÃO DO TRIPLE BOTTOM LINE NA MASISA, 2013.

BLANCO, LUÍSA, G. F. & R. I. O Impacto do IED nas Emissões de CO2 na América Latina. Oxford Development Studies, 2012. 104-121.

BOSSEL, H. Indicators for Sustainable Development: theory, method, applications: a report to the Balaton Group. Winnipeg: IISD, 1999.

CARLOS M. HERRERA, Pedro J. L. L.-S. J. A. A. Recrutamento de uma árvore de mastro frutífera e dispersa por pássaros: ponte entre atividade de frugívoros e estabelecimento de mudas. *Ecological monographs*, 1994.

CARVALHO, J R. M. D. et al. Proposta e validação de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas: estudo de caso na sub-bacia do alto curso do Rio Paraíba, PB. Scielo, Agosto 2011.

CARVALHO, T. S.; SANTIAGO, F. S.; PEROBELLI, F. S. Incorporação de CO<sub>2</sub> no comércio internacional: uma análise de insumo-produto das exportações de Minas Gerais em 2005. XLIX Congresso da Sociedade Brasileira de Economia Administração e Sociologia Rural - SOBER., 2011, Belo Horizonte. Anais do XLIX Congresso da Sociedade Brasileira de Economia Administração e Sociologia Rural -, 2013.

CEPAL. Nações Unidas. **CEPAL**, 2023. Disponível em: <https://www.cepal.org/pt-br/sobre>. Acesso em: 10 jan. 2023.

CHARNES, Abraão et al. *Análise Envoltória de Dados: Teoria, Metodologia e Aplicações*. [S.l.]: [S.n.], 1997.

COPELAND, B. R.; TAYLOR, M. S. Trade, Growth, and the Environment. *Journal of Economic Literature*, 2004.

ECCAPLAN. *blogeccaplan*, 10 set. 2022. Disponível em: <https://eccaplan.com.br/blog/2019/10/07/a-importancia-de-um-inventario-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estudade-#:~:text=O%20Invent%C3%A1rio%20de%20Emiss%C3%B5es%20de,e%20registrando%20anualmente%20essas%20atividades>.

ECOEICIENTES. A história do termo ecoeficiência, 2022. Disponível em: <http://www.ecoeficientes.com.br/a-historia-do-termo-ecoeficiencia/>. Acesso em: 08 out. 2022.

ECYCLE. *eCycle*, 10 set. 2022. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/degradacao-ambiental/>.

ELKINGTON, J. *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Oxford, Capstone, 1997.

FERNANDES, Marcia F. R.; XAVIER, Leydervan D. S.; PEIXOTO, José A. A. Estudo do indicador de sustentabilidade "Pegada Ecológica": uma abordagem teórico-empírica. *Ibero Americana de Estratégia*, 2008.

GAVIÃO, Luiz O. et al. Avaliação de eficiência a partir de indicadores de sustentabilidade, 2016. 16.

GIMENES, FABRÍCIO P.; GAMEIRO, BRUNO D. C. F.; MARIANO, ENZO B. ANÁLISE DA CAPACIDADE DE CONVERSÃO DE DEMANDA AMBIENTAL EM RIQUEZA ECONÔMICAS DOS PAÍSES DA AMÉRICA LATINA. *Inovação e Sustentabilidade na Gestão de Processos de Negócios*, 07, 08, 09 Novembro 2018. 14.

GOMES, ELIANE G.; MELLO, JOÃO C. C. B. S. D.; MANGABEIRA, JOÃO A. D. C. ESTUDO DA SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA EM UM MUNICÍPIO. *Scielo*, 2007. 20.

GUERRA, Sinclair M. G.; FANTINELLI, Jane T. A APROXIMAÇÃO ENTRE TECNOLOGIA E ECONOMIA: OS EMERGENTES PAPÉIS DA ENERGIA. *REVISTA DE ESTUDOS SOCIAIS*, 2001.

HARRIS, JONATHAN M.; ROACH, BRIAN; CODUR, ANNE-MARIE. *The Economics of Global Climate Change*. Global Development And Environment Institute Tufts University, 2007.

IKRAM, Majid et al. Explorando o nexos entre complexidade econômica, crescimento econômico e pegada ecológica: evidências contextuais do Japão. Elsevier, 2021.

LARA, Luiz G. A. D.; OLIVEIRA, Samir A. D. A ideologia do crescimento econômico e o discurso empresarial do desenvolvimento sustentável. *Scielo Brasil*, 2017.

LUCON, Oswaldo; GOLDEMBERG, José. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. *Estudo Avançados*, 2009.

MACHADO, Layanne D. O.; GARRAFA, Volnei. Proteção ao meio ambiente e às gerações futuras: desdobramento e reflexões bioéticas. *Researchgate*, mar. 2020. 12.

MACIEL, Harine M.; KHAN, Ahmad S.; ROCHA, Leonardo A. Análise da Ecoeficiência no Continente Americano. *Espacios*, 2017.

MACIELA, Harine M.; KHAN, Ahmad S. O Índice de Ecoeficiência em âmbito internacional: uma análise comparativa do desempenho de 51 países entre os anos de 1991 e 2012., 22 fev. 2017. 16.

MARTINS, Mariana D. A. ENSAIO DE EFICIÊNCIA ECONÔMICA E AMBIENTAL AGRÍCOLA DOS PAÍSES COMPONENTES DO BRICS. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

MUNDIAL, Banco. Banco Mundial. Banco Mundial, 2015. Disponível em: <http://www.worldbank.org/pt/country/brazil>. Acesso em: 2022.

MUNHOZ, D G. América Latina ortodoxia econômica e dependência financeira. R. Econ. Contemp., 2002. 17.

NASCIMENTO, Elimar P. D. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. Estudo Avançados, 2012.

ONU. Nosso Futuro Comum. [S.l.]: [S.n.], 1987.

PENA, Rodolfo F. A. Economia Verde. UOL, 2023. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/economia-verde.htm>. Acesso em: 19 jul. 2023.

PINTO, NELSON G. M.; CORONEL, DANIEL A. A degradação ambiental no Brasil: uma análise das evidências empíricas. Observatorio de la Economía Latinoamericana, 2013.

RAPINI, Márcia S.; RUFFONI, Janaina; LEANDRO ALVES SILVA, Eduardo D. M. E. A. Economia da ciência, tecnologia inovação Fundamentos teóricos e a economia global. [S.l.]: [S.n.], 2021.

ROIZ, GUILHERME A. et al. TAXAS AMBIENTAIS E ECONOMIA CIRCULAR: XXVII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 11 a 13 Novembro 2020. 15.

SANTOS, W. G. A Democracia impedida: o Brasil no século XXI. Rio de Janeiro, Brasil: FGV Editora, 2017.

SILVA, A. M.; CORREIA, A. M. M.; CÂNDIDO, G. A. Ecological Footprint Method: Avaliação da Sustentabilidade no Município de João Pessoa, PB. Desenvolvimento

Sustentável e Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade: Formas de aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas., 2010. 236-271.

SOARES, FILLIPE G. DETERMINANTES ECONÔMICOS E SOCIAIS DE IMPACTO NAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>: O CASO DA AMÉRICA LATINA. Terceiro Seminário de Estatística com R, 2018. 13.

SOUZA, HELSON G. D.; TABOSA, FRANCISCO J. S. ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA AMÉRICA LATINA. Economia Aplicada, 2019. 157-176.

SUSTAINABLE. TOWARDS A GREEN ECONOMY FOR CANADA, Ottawa, 2012.

UNITED NATIONS. Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies, New York, 2007.

VALE, Vinícius A.; PEROBELLI, Fernando S.; CHIMELI, Ariaster B. Comércio internacional, poluição e estrutura econômica: evidências sobre as emissões de CO<sub>2</sub> para o Norte e o Sul. Economic Systems Research, 2017. 17.

VAN BELLEN, H. M. Indicadores de Sustentabilidade: Uma análise. Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. 235.

VAN BELLEN, H. M. Indicadores de sustentabilidade: Uma Análise Comparativa. Rio de Janeiro: FGV, 2005.

ZHOU, Peng; ANG, Beng W.; POH, Kim L. Uma pesquisa de análise envoltória de dados em estudos de energia e meio ambiente. European Journal of Operational Research, agosto 2008. 1-18.