

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



**DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL: UMA ANÁLISE A
PARTIR DA APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

Laura Antunes Vales

Mariana-MG

2022

Laura Antunes Vales

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL: UMA ANÁLISE A PARTIR DA APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

Monografia apresentada ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Diogo Ferraz

Mariana-MG

DEECO/ ICSA/UFOP

Dezembro/ 2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

V167d Vales, Laura Antunes.

Desenvolvimento Sustentável no Brasil: Uma análise a partir da aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA). [manuscrito] / Laura Antunes Vales. - 2022.

37 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Diogo Ferraz.

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

1. Análise de envoltória de dados. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Sustentabilidade. I. Ferraz, Diogo. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 330.3

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Laura Antunes Vales

Desenvolvimento Sustentável no Brasil: uma análise a partir da aplicação da Análise Envoltória De Dados (DEA)

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

Aprovada em 20 de Outubro de 2022

Membros da banca

Prof. Dr. - Diogo Ferraz - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP)
Prof. Dr. - Victor Maia Senna Delgado - (Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP)
Me. - Guilherme Augusto Roiz - (Universidade de São Paulo - USP)

Prof. Dr. 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 27/10/2022



Documento assinado eletronicamente por **Diogo Ferraz, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/10/2022, às 07:59, 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, informando o código verificador **0419302** e o código CRC **6012E740**.

RESUMO

Desde a metade do século XX o conceito de Desenvolvimento sustentável vem ganhando destaque, posto que nesta época sucedeu-se um alerta quanto a condições da natureza de continuar ofertando todos os recursos necessários para a sobrevivência da humanidade. O significativo crescimento populacional associado ao aperfeiçoamento cada vez mais ascendente da ciência e da tecnologia é um dos fatores que acabam permitindo que muitos recursos naturais se esgotem em pouco tempo. Além disto, outro importante fator causador da escassez dos recursos naturais é a busca incessante e muitas vezes imprudente dos seres humanos pelo capitalismo, onde o consumo desordenado e a exploração das riquezas naturais sem a devida reposição vêm contribuindo para o estágio atual de degradação que por vez, tem se mostrando cada vez mais ascendente, sendo assim, um resultado decorrente do processo de desenvolvimento econômico. É diante deste cenário que surge a necessidade e a importância do Desenvolvimento sustentável, uma vez que, seu conceito atende às necessidades das gerações atuais sem comprometer o atendimento das necessidades das gerações futuras. Ele se insere em um contexto de conexão entre as dinâmicas econômica, social e ambiental que por vez, formam o *Triple Bottom Line* (Triple da sustentabilidade). Assim, áreas consideradas sustentáveis são aquelas que conseguem promover, de forma equilibrada e harmônica, crescimento econômico, qualidade de vida e respeito ao meio ambiente. O presente trabalho tem por objetivo analisar o nível de sustentabilidade do Brasil no período de um ano frente a múltiplas perspectivas e dimensões da sustentabilidade utilizando como ferramenta a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*), Indicadores de sustentabilidade e variáveis que correspondem aos pilares que formam o triple da sustentabilidade (econômico social e ambiental)

Palavras-chave: *Data Envelopment Analysis* (DEA), Desenvolvimento Sustentável, Indicadores de sustentabilidade.

SUMÁRIO

1) INTRODUÇÃO	5
2) REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1)Desenvolvimento Sustentavel e Questões Ambientais	6
2.2)Indicadores de Sustentabilidade.....	12
2.3) Indicadores de Sustentabilidade via DEA.....	18
3) MÉTODO	23
3.1)Base de dados	23
3.2) Data Envelopment Analysis (DEA).....	24
3.3) Resultados Encontrados	28
4) CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

Desde os estudos sobre o desenvolvimento econômico, na metade do século XX, a busca pela sustentabilidade ambiental se tornou fator relevante para gerar harmonia entre a utilização dos recursos naturais e as necessidades dos seres humanos (TRISTÃO, 2016). Desta forma, a sociedade tem apresentado maior preocupação com o desenvolvimento sustentável, dado o impacto ambiental provocado pelo crescimento econômico, que é o principal fator causador da escassez dos recursos naturais (DALCHIAVON; BAÇO; MELLO, 2016).

Diante disto, as pesquisas a respeito da avaliação sobre a sustentabilidade ambiental passaram a constituir um instrumento relevante de monitoramento para o desenvolvimento sustentável. Isto porque, o progresso tem importância no cenário mundial, tendo como premissa o reconhecimento da necessidade do desenvolvimento econômico nos países, sem desconsiderar o meio ambiente e o bem-estar social (CORREIA, 2019). Nesse contexto, este problema se insere para o caso do Brasil, que convive com inúmeras adversidades acerca do desequilíbrio social e ambiental.

O termo sustentabilidade é definido por Lucena, Cavalcante e Cândido (2011) como o equilíbrio entre o crescimento econômico, a preservação do meio ambiente e a resolução das desigualdades sociais. Em outros termos, sustentabilidade discorre sobre informações sobre aspectos econômicos, sociais e ambientais, que constituem os parâmetros do *Triple Bottom Line* (TBL). Sendo assim, o problema de pesquisa se constitui em como analisar o nível de sustentabilidade do Brasil frente a múltiplas perspectivas e dimensões da sustentabilidade, na tentativa de revelar uma melhor estratégia que, além de reduzir a poluição ambiental, seja capaz de eliminar desperdícios, equilibrar a distribuição da renda, promover justiça sociais e diminuir os índices de pobreza. Frente ao exposto, esta monografia tem como objetivo criar um indicador para revelar o nível de desenvolvimento sustentável no Brasil. O método utilizado será a Análise Envolvória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA). Como estratégia de investigação, este projeto se propõe a comparar as estimativas do DEA com o Índice Consolidado de Desenvolvimento Sustentável (ICDS).

Os recursos naturais têm se tornado cada vez mais escassos, podendo levar em consideração uma possível exaustão. Diante desta ameaça, fez-se necessário a busca por alternativas para que o desenvolvimento socioeconômico seja sustentável. Uma política social forte é ainda a principal necessidade para a conquista do progresso que cause menos danos ambientais, principalmente nos países emergentes, como o Brasil (CARVALHO et al., 2015). Questões ambientais, relacionadas ao uso de agrotóxicos, emissões de poluentes, desmatamento excessivo, mão de obra escrava e infantil e o acesso cada vez mais restrito de uma parcela significativa da sociedade com saneamento básico e educação de qualidade são alguns dos fatores que as políticas públicas tentam inibir, porém continuam agindo de forma lenta e ineficaz na maioria das unidades federativas do Brasil. Além disto, diante de tal problemática, torna-se relevante a realização de um paralelo entre crescimento e desenvolvimento.

Contudo, frente a estes problemas e levando em consideração o fato de haver uma carência de trabalhos analíticos no Brasil, este trabalho contribui por apresentar uma análise sobre a sustentabilidade de modo relativo e multicritério, por meio de um novo índice que envolve perspectivas ambiental, social e econômica. Logo, esta pesquisa é útil ao demonstrar a necessidade de uma emergente mudança de protótipos sociais, em que é possível demonstrar a importância em relação à percepção de valores que direcionam o desenvolvimento econômico e a relação da sociedade com o meio ambiente, que necessitam de uma maior sensibilidade por parte dos tomadores de decisão quanto aos aspectos do *triple* da sustentabilidade.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: Revisão da literatura sobre o Desenvolvimento Sustentável, Sustentabilidade e Indicadores; a metodologia utilizada; apresentação e análise dos resultados encontrados; e por fim as considerações finais do estudo apontando as principais questões da avaliação do Desenvolvimento Sustentável nas Unidades Federativas do Brasil.

2. REFERENCIAL TEORICO

Esse tópico apresenta a revisão bibliográfica dos temas abordados nesta monografia, o qual se refere ao desenvolvimento sustentável no Brasil. Nesse sentido, descreve-se o conceito de sustentabilidade, a importância e a correlação entre indicadores que compõem as três dimensões de sustentabilidade (econômica, social e ambiental).

2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E QUESTÕES AMBIENTAIS

Esta seção tem como objetivo apresentar o conceito de sustentabilidade. A mensuração e operacionalização do conceito de sustentabilidade, que se faz necessária devido à preocupação e conscientização com a preservação dos finitos recursos naturais, diminuição da emissão de poluentes, busca pela igualdade social e pelo crescimento econômico sem a degradação do meio ambiente (KRAMA, 2008). Também é necessário um acompanhamento que possibilite a percepção sustentável no curto, médio e longo prazo.

Segundo Souza et al. (2008), no final do século XX, verificou-se um alerta quanto à capacidade da natureza continuar oferecendo todos os recursos necessários para a sobrevivência da humanidade. Por um lado, o crescimento da população permite que muitos dos recursos naturais se esgotem em poucos anos. De forma paralela, o consumo desordenado e a exploração das riquezas naturais sem a devida reposição têm contribuído para o estágio de degradação sem precedente na história da humanidade, sendo decorrente do processo de desenvolvimento econômico.

O termo sustentabilidade foi disseminado por conta das discussões sobre o modelo de desenvolvimento econômico face à utilização dos recursos naturais do planeta, a partir da década de 1970 (HIDS, 2021). Na década seguinte, a Organização das Nações Unidas (ONU) criou uma Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento que trazia como lema "Uma agenda global para a mudança", com o intuito de estudar os

problemas ambientais e pensar em um novo modelo de desenvolvimento. Em 1987, esse grupo de estudos entregou o relatório intitulado “Nosso futuro comum”, também conhecido como Relatório Burtland. O relatório consolidou o termo “desenvolvimento sustentável”, um tipo de desenvolvimento capaz de suprir as necessidades dos seres humanos da atualidade, sem comprometer a capacidade de o planeta atender as futuras gerações, ou seja, sem esgotar os recursos naturais. No entanto, esse é apenas um dos significados de sustentabilidade. A palavra comporta diversas interpretações, sendo um termo polissêmico e que depende do uso e do contexto em que se insere.

Sustentabilidade é toda ação destinada a manter as condições energéticas, informacionais, físico-químicas que sustentam todos os seres, especialmente a Terra viva, a comunidade de vida e a vida humana, visando a sua continuidade e ainda a atender as necessidades da geração presente e das futuras de tal forma que o capital natural seja mantido e enriquecido em sua capacidade de regeneração, reprodução e coevolução (Boff, 2012, p.107)

Por muito tempo, o conceito do que é sustentabilidade foi debatido entre os acadêmicos e formuladores de políticas públicas. Esta questão atingiu como conclusão várias respostas, dependendo do conceito. Por décadas a sustentabilidade era associada somente a questões ambientais, fato este que impunha um limite sobre o termo. A percepção da maioria das pessoas era que a sustentabilidade estava relacionada apenas às emissões de gases para a atmosfera como, por exemplo, o gás carbônico, e que este era o único risco a que o planeta estaria exposto. Isto é um equívoco. Em realidade este é o principal problema, mas não é o único. (TORRESI et al., 2010)

A partir da década de 1970 a complexidade do significado de sustentabilidade obteve uma transformação quando adjetivos começaram a servir como ponte para relacionar sustentabilidade a questões de sociedade humanas. Segundo CORRÊA (2019) houve a existência de discursos vazios sobre a sustentabilidade, sob uma ótica em um enfoque reducionista do conceito sem, de fato, compreendê-lo nas suas reais dimensões. Desta forma, a sustentabilidade passa a ser defendida e relacionada não somente a questões ambientais e de finitude dos recursos, mas sim na caracterização de diferentes dimensões a exemplo, a social, cultural, ambiental, econômica e política, que apresentam similaridades na identificação de prioridades a serem tratadas nas suas respectivas áreas e por existir uma relação de interdependência entre as dimensões, estas não podem ser tratadas de forma isolada.

A respeito das dimensões do desenvolvimento sustentável, Sachs (2009) apresenta oito dimensões: social, econômica, ecológica, ambiental, territorial, cultural, política (nacional e internacional). Ainda, Bossel (1999), estende as dimensões para material, ambiental, social, ecológica, econômica, legal, cultural, política e psicológica. E Van Bellen (2002), sugere como mais relevantes ao desenvolvimento sustentável, apenas três dimensões: a social, a ecológica e a econômica (CORRÊA, 2019)

Ao analisar a expansão e inserção do conceito do que é sustentável em outras dimensões, percebe-se que estas dimensões descritas se tornam bem mais abrangentes do que o trato da sustentabilidade apenas pela ótica da gestão ambiental de recursos, considerada limitada quando se leva em conta todas as relações e questões que envolvem a forma como o ser humano se desenvolve e como este se relaciona com o ambiente durante o processo para atingir o seu desenvolvimento. (PAWLOWSKI, 2008).

A noção de desenvolvimento sustentável vem sendo utilizada como um projeto para a sociedade com foco no presente e no futuro, visando garantir a sobrevivência da natureza e dos grupos sociais. Para que o desenvolvimento sustentável ocorra, o ponto de partida está em reconhecer a falta de sustentabilidade econômica, social e ambiental do padrão de desenvolvimento tradicional, utilizado pelas sociedades contemporâneas. Uma das premissas desta abordagem se relaciona com a compreensão de que os recursos naturais são finitos e de que há injustiça social causada pelo modelo de desenvolvimento adotado pela grande maioria dos países (Bellen, 2005).

O conceito desenvolvimento sustentável foi criado em 1990 por John Elkington e decorre da combinação equilibrada do desenvolvimento econômico com justiça social e domínio dos problemas ambientais, sendo assim, uma integração destas perspectivas em uma única, conhecida como os pilares da sustentabilidade (*Triple Bottom Line - TBL*). Nesta abordagem, o desenvolvimento sustentável seria aquele que é economicamente viável, socialmente responsável e ambientalmente prudente (Sachs, 2004). Esses pilares devem atuar em conjunto e de forma ampla. Assim, o *Triple Bottom Line* corresponde aos resultados de uma organização medidos em termos sociais, ambientais e econômicos, em que tais medições possuem caráter voluntário e são apresentados nos relatórios corporativos das empresas e organizações comprometidas com o desenvolvimento sustentável.



Figura 1 – *Triple Bottom Line* (TBL)
Fonte: Fisk, Peter (2010)

Segundo Peter Fisk (2010), a sociedade vem vivendo épocas de mudanças sem precedentes. Nos negócios, os indivíduos enfrentam diariamente desafios e oportunidades que são mais críticos e complexos do que nunca, em que as consequências do fracasso são inimagináveis, e o impacto das decisões afetam todo o planeta. A mudança está no entorno e vem para reforçar que só é possível sustentar o modo de vida com novas ideias, novos comportamentos e novos equilíbrios. Neste sentido, ao referir-se aos indicadores do *Triple Bottom Line*, inclui também oportunidades de negócio, melhoria operacional e vantagem competitiva, pois de fato, um impacto positivo sobre as pessoas e o planeta é, cada vez mais, a melhor fonte de crescimento rentável. Assim, pessoas, planeta e lucro movem os problemas de sustentabilidade da periferia para o centro das negociações. Os três pilares do *Triple Bottom Line* (TBL) abordam:

Aspecto Social – sustentabilidade social diz respeito às atividades que mantêm relacionamentos mutuamente benéficos com funcionários, clientes, comunidade e organizações não governamentais (ONGs).

Aspecto Ambiental – sustentabilidade ambiental diz respeito às atividades que consideram o impacto do uso de recursos, substâncias perigosas, resíduos e emissões no ambiente físico.

Aspecto Econômico – atividades de sustentabilidade econômica focam na eficiência dos negócios, pagamento de contas, impostos, produtividade e lucro.

Vários trabalhos corroboram estudos que analisaram a importância da mensuração do desenvolvimento sustentável, assim como a relação entre crescimento econômico e sustentabilidade. Grossman e Krueger (1995) propuseram, de forma análoga à proposição de Kuznets (1955) cuja variável dependente é a desigualdade de renda, a alteração para a degradação ambiental medida pela poluição, sendo a renda per capita mantida como variável independente em razão da justificativa de que num processo de desenvolvimento econômico seria inevitável que agressões ao meio ambiente ocorressem. Entretanto, este quadro seria revertido na medida em que a renda continuaria se elevando, posto que as pessoas adquiririam maior consciência sobre os danos ambientais gerados pelo processo de desenvolvimento. Grossman e Krueger (1995) obtiveram resultados robustos na investigação da Curva Ambiental de Kuznets, cuja existência foi validada para os indicadores de SO₂ nas partículas de ar para fumaça, oxigênio dissolvido na água, demanda biológica por oxigênio na água e nas partículas de coliformes fecais na água.

Nos cinco critérios em que a Curva Ambiental de Kuznets foi verificada, o ponto em que houve a inversão de relação positiva para a negativa esteve situado entre US\$ 2,7 mil e US\$ 8 mil, indicando a possibilidade de países ainda em estágio intermediário de desenvolvimento alcançarem trajetória de declínio na degradação ambiental (Serra, 2007). Arraes (2006) se baseou na controvérsia existente na literatura sobre crescimento

econômico, desenvolvimento sustentável e proteção ambiental, gerada a partir da evidência empírica mostrada inicialmente por Grossman e Krueger (1995). No artigo “Curva Ambiental de Kuznets e Desenvolvimento Econômico Sustentável”, Arraes (2006) se distingue por contribuir com a explicação de fatores ligados ao desenvolvimento econômico. Como essa relação tem sido recentemente contestada, muitas interpretações estruturais da CAK têm permanecido fortemente sob o amparo *ad hoc*. A questão sobre tal fato estilizado é se o crescimento econômico gera por si só uma proteção automática ao meio ambiente *vis a vis* ao desenvolvimento sustentável.

Arraes (2006) testou a hipótese ambiental de Kuznets para os indicadores do desenvolvimento sustentável por meio de dados de painel. O autor encontrou que o comportamento da Curva Ambiental de Kuznets tende a levar um processo de convergência, principalmente para os países em desenvolvimento, e a gerar indicadores ambientais semelhantes ao de países desenvolvidos. Isto porque “as variáveis que denotam desenvolvimento sustentável apresentam uma relação fraca com o PIB *per capita*, quanto a sua representação para uma CAK. Há evidências para curvas ambientais com formato cúbico, indicando que o fenômeno pode ser cíclico, rejeitando-se assim as CAK originais, além de todos os indicadores de desenvolvimento selecionados apontarem para divergências entre países, exceção apenas para o indicador relacionado à educação” (Arraes, 2006, p.1).

Xi Chen e Zhigang Chen (2021) analisaram a sustentabilidade na China, onde a transformação econômica do país é urgente. Isto porque graves problemas ambientais ocorreram simultaneamente com o rápido crescimento econômico, por exemplo, a descoberta de que as emissões de carbono (CO₂) da China em 2019 excederam as emissões totais dos países da (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) OCDE. Diante disto, o estudo avaliou os determinantes de CO₂ por meio de um modelo de painel dinâmico espacial no intuito de testar empiricamente o mecanismo do impacto do financiamento verde nas emissões de carbono, com dados de 30 províncias chinesas de 2005 a 2018. Assim, utilizando como proxy para a sustentabilidade a emissão de CO₂, os autores demonstraram que como um grave problema ambiental, a emissão de carbono é resultado de muitos aspectos do desenvolvimento econômico e social. Portanto, o artigo introduziu variáveis de controle como, por exemplo, o nível de desenvolvimento econômico em termos de Produto Interno Bruto (PIB) per capita, em que os termos foram introduzidos no modelo para explorar se o crescimento econômico e as emissões de carbono têm uma relação em forma de U invertido. Além disso, o estudo mostrou as demais variáveis de controle como a urbanização, a estrutura energética e a estrutura industrial são variáveis significativas para aumentar a emissão de CO₂ no período analisado. Além disto, este estudo utilizou a variável abertura econômica para avaliar a importância da diversificação produtiva na emissão de poluentes, em virtude de que países desenvolvidos costumam adotar políticas mais sérias de controle da poluição ambiental, o que tende a aumentar os custos de produção das empresas poluidoras. Por meio da análise do modelo econométrico espacial, os autores constataram que o

desenvolvimento do financiamento verde contribui para a redução das emissões de carbono; o efeito de transbordamento espacial das finanças verdes é significativo, podendo reduzir as emissões de carbono local e inibir áreas adjacentes. Para estimular a redução das emissões de carbono, faz-se necessário apoiar o desenvolvimento do financiamento verde, reduzir as restrições de financiamento de empresas de economia de energia e proteção ambiental e incentivar a pesquisa e o desenvolvimento de recursos inovadores.

Camoto, Mariano e Rebelatto (2013) analisaram a importância da eficiência nos setores industriais do Brasil de 1996 a 2009 em termos de energia e desenvolvimento sustentável. Note que os autores utilizaram como proxy para a sustentabilidade o consumo de energia e as respectivas contribuições para os aspectos econômicos e sociais do país. Essa análise utilizou o método *Data Envelopment Analysis* (DEA), que possibilitou a partir do modelo Slack Based Model (SBM) e da Análise de Janela, avaliar a capacidade das indústrias de reduzir o consumo de energia e as emissões de CO₂ de combustível fóssil, bem como aumentar a produção PIB setorial, número de pessoas empregadas e despesas pessoais, a fim de incorporar os três pilares do *Triple Bottom Line* na análise. Os autores encontraram que a variável energia foi a causadora de maior impacto na emissão de CO₂. Por fim, os resultados deste estudo indicaram que o setor Têxtil é o setor industrial mais eficiente do Brasil, seguido pelos setores: Alimentos e Bebidas, Químico, Mineração, Papel e Celulose, Não Metálicos e Metalúrgico.

Tristão (2016) demonstrou a importância de conhecer o nível de eficiência com que os países conseguem transformar inovações tecnológicas em desenvolvimento econômico, social e ambiental e, assim, identificar melhores práticas em termos de política global, identificar os fatores que determinam a maior capacidade de um país de converter inovação em desenvolvimento, quando comparado com outros e observar a relação direta (elasticidade) entre as variáveis “número de patentes” (proxy de inovação) e o aumento ou diminuição da eficiência. Dessa forma, o estudo analisou a contribuição da inovação tecnológica para a eficiência em termos econômicos, sociais e ambientais de 79 países, entre os anos de 2000 a 2010. Note que o autor utilizou como proxy para a sustentabilidade a eficiência ambiental. Para tal, foi utilizado o método *Data Envelopment Analysis* (DEA). Além disso, foi realizada uma validação econométrica, na qual foi possível observar que as patentes aplicadas (variável de inovação tecnológica) contribuíram de forma positiva para o desenvolvimento econômico (PIB), social (expectativa de vida) e ambiental (emissão de CO₂). É necessário destacar que este último caso, no qual o aumento do número de patentes aplicadas proporciona o aumento das emissões de CO₂, denotou que os avanços tecnológicos são insuficientes para deter a emissão de poluentes, ou que novas tecnologias não têm considerado a sustentabilidade durante o processo de desenvolvimento tecnológico. Os resultados encontrados demonstraram, em média, uma predominância dos países europeus (principalmente membros da OCDE) dentre os mais eficientes nos quatro modelos desenvolvidos. O autor concluiu que, quando tratada de forma exógena ao modelo, a

inovação tecnológica contribui positivamente para a eficiência econômica e social, porém impacta de forma negativa, diminuindo a eficiência ambiental e de desenvolvimento sustentável. O autor relata que tal fato denota a necessidade de orientação de políticas públicas e mudanças culturais no sentido da sustentabilidade, aumentando o desempenho e produtividade do uso dos recursos e de reaproveitamento de descartes e diminuição da produção residual.

Martins, Salmin e Mirando (2004) analisaram como a estrutura urbana pode afetar a sustentabilidade em relação à qualidade do ar. O estudo reforça as evidências de que a forma de uma cidade e a distribuição do uso do solo determinam a localização das fontes de emissão e o padrão do tráfego urbano, afetando a qualidade do ar urbano. Note que os autores utilizaram como proxy para a sustentabilidade a qualidade do ar. Para analisar como a estrutura urbana pode afetar a sustentabilidade da cidade do ponto de vista da qualidade do ar, o estudo focou os potenciais impactos de diferentes padrões de uso do solo na qualidade do ar urbano. Foram criadas três cidades imaginárias, baseadas em estratégias alternativas de planejamento urbano, considerando diferentes padrões de uso do solo: do cenário de expansão urbana ao cenário oposto de uma cidade compacta com uso misto do solo. A pesquisa foi realizada por meio de um sistema fotoquímico de mesoescala MEMO/MARS aplicado para avaliar a qualidade do ar urbano em cada uma das estruturas idealizadas da cidade. Três milhões de habitantes foram distribuídos dentro das cidades assumindo densidade populacional diferente para cada classe com base nos dados de um projeto (MEET). As simulações foram feitas para as três cidades, durante um dia típico de verão da Península Ibérica. Além disto, para avaliar a influência da estrutura das cidades na qualidade do ar, a análise dos resultados foi realizada considerando as concentrações relativas de O_3 e NO_2 e não as concentrações absolutas. Por fim, de acordo com as simulações fotoquímicas realizadas, os autores concluíram que cidades compactas com uso misto do solo proporcionam melhor qualidade do ar em comparação com cidades dispersas com densidades mais baixas e uso segregado do solo ou cidades em rede equipadas com estruturas de transporte intensivo.

Frente todos os estudos, nota-se a importância de estudar os indicadores de sustentabilidade. Devido a carência de métodos de avaliação quantitativa (que se tornou um fator limitante) e o grande desprovimento de dados estatísticos ambientais, a busca de indicadores e índices de desenvolvimento sustentável passou a ser uma questão importante proporcionando discussões na literatura mundial.

2.2 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

O desenvolvimento sustentável apresenta grande diversidade de conceitos, o que dificulta o entendimento adequado sobre as características acerca do objeto de estudo. Entretanto, a diversidade deste conceito deve servir não como obstáculo na procura por definição teórica, mas como fator de motivação e criador de novas visões acerca de ferramentas que busquem descrever a sustentabilidade (VAN BELLEN, 2002).

Diante da falta de consenso acerca do conceito de desenvolvimento sustentável, há necessidade de desenvolver ferramentas que procurem mensurar a sustentabilidade. Esta seção tem por objetivo discorrer sobre indicadores de sustentabilidade, as necessidades de ampliar os indicadores relacionados ao desenvolvimento sustentável, como podem ser utilizados e pra quem são importantes.

Os indicadores ambientais começaram a ser utilizados durante a década de 1970 e 1980, como resultado de esforços de governos e organizações internacionais na elaboração e divulgação dos primeiros Relatórios sobre o Estado do Ambiente (FRANCA, 2001). A busca por indicadores de sustentabilidade ambiental cresceu bastante durante a última década, particularmente na segunda metade, por parte de organismos governamentais, não-governamentais, institutos de pesquisa e universidades em todo o mundo. Muitas conferências foram organizadas por entidades internacionais, bem como outras iniciativas de pesquisadores ligados a algumas instituições governamentais e/ou universitárias (MARZALL; ALMEIDA, 2000).

A II Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1992, reconheceu a importância que os indicadores poderiam desempenhar em ajudar os países a tomarem decisões informadas sobre o desenvolvimento sustentável, expressos no documento Agenda 21 do Rio de Janeiro. Nesse momento, durante a Conferência Rio-92, criou-se a Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (CDS) com a função de impulsionar o foco da comunidade internacional ao desenvolvimento sustentável e monitorar os progressos em sua direção (CORRÊA, 2019).

Sobre a importância dos indicadores e o monitoramento, o capítulo 40 da Agenda 21, intitulado “Informação para tomada de decisão”, sugere que os países desenvolvam sistemas de monitoramento e de avaliação do avanço para o desenvolvimento sustentável, adotando para tal, indicadores que mensurem as mudanças nas dimensões econômica, social e ambiental (CMMAD, 1995).

Há uma falta generalizada de capacidade, em particular nos países em desenvolvimento, e em muitas áreas no plano internacional para coleta e avaliação de dados, sua transformação em informação útil e sua divulgação. Além disso, é preciso melhorar a coordenação entre as atividades de informação e os dados ambientais, demográficos, sociais e de desenvolvimento. (CMMAD, 1995 p.465).

Lodhia e Martin (2013) analisaram se os chamados Corporate Sustainability Indicators (CSI), ou seja, se os Indicadores de Sustentabilidade Corporativa seriam capazes de fornecer o potencial de integrar informações econômicas, sociais e ambientais de uma empresa. Para realizar este estudo, os autores desenvolveram o CSI para uma grande empresa australiana de recursos diversificados, a BHP Billiton, uma das maiores mineradoras globais. O estudo envolveu partes interessadas especializadas na

determinação do valor e da capacidade explicativa dos indicadores (saúde, segurança, meio ambiente e comunidade e equipe corporativa). O estudo foi alinhado com pesquisas anteriores que abordaram o CSI, mas ampliou ainda mais a literatura desenvolvendo indicadores específicos da empresa a partir de relatórios anuais e de sustentabilidade (2001 e 2009) e explorou a utilidade desses indicadores para a empresa e os acionistas.

Note que a pesquisa de Lodhia e Martin (2013) forneceu um exemplo real de CSI ao desenvolver indicadores de sustentabilidade a partir de dados primários de relatórios anuais e de sustentabilidade, em vez de analisar indicadores com informações generalizadas. Além disso, opiniões diferentes sobre esses indicadores foram levadas em consideração. As opiniões do executivo da empresa confirmaram os usos internos do CSI em relação à gestão e governança e as visões corporativas e das partes interessadas foram procuradas para avaliar a utilidade desses indicadores desenvolvidos especificamente. Por fim, os autores obtiveram como resultado a constatação de que o CSI de uma empresa pode ser considerado útil e explicativo, sujeito a algumas limitações importantes. A BHP Billiton concordou que os indicadores eram úteis tanto para fins de gestão da empresa quanto para os stakeholders. Ademais, a análise contribuiu para a evolução dos relatórios de sustentabilidade, destacando que esta abordagem de desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade integrados, em que uma dimensão de sustentabilidade é impulsionada por outras dimensões relacionadas ao tema, ou seja, é uma abordagem possível para integrar questões econômicas, sociais e ambientais. Porém, os autores concluíram que, embora os indicadores possam auxiliar na compreensão das ações sustentáveis das empresas, não são capazes de fornecer uma resposta completa sobre os desafios para atingir o desenvolvimento sustentável. Os indicadores podem combinar questões de sustentabilidade e exibir tendências em nível corporativo, mas detalhes adicionais permitem precisão de compreensão e interpretação. Assim, estes tipos de indicadores são limitados em termos de poder comunicar ações de sustentabilidade específicas e detalhadas, e reforçam a exigência de informação de suporte ou complementar sobre a sustentabilidade da empresa.

O estudo de Evans, Strezio e Evans (2008) avaliou os indicadores de sustentabilidade para tecnologias de energia renovável. As tecnologias de energia renovável foram avaliadas com base em vários indicadores críticos de sustentabilidade. Os indicadores selecionados foram o preço da eletricidade gerada, as emissões de gases de efeito estufa durante todo o ciclo de vida da tecnologia, a disponibilidade de fontes de energia renovável, eficiência de conversão de energia, necessidades de terra, consumo de água e impactos sociais. Cada indicador foi assumido com igual importância para o desenvolvimento sustentável e usados como ferramenta para a classificação das energias renováveis em relação aos seus impactos. Os resultados mostram que a energia eólica é a mais sustentável, apesar de requerer um maior capital relativo aos custos, seguida pela energia hidrelétrica, fotovoltaica e depois geotérmica. Em contrapartida, o fato de a disponibilidade de tecnologias de energia renovável possuir uma significativa limitação para a produção de energia de base se mostrou um ponto importante que precisa ser

avaliado. Além disso, foi possível concluir que muitos países são menos afortunados no quesito reservas de combustíveis térmicos, o que acaba tornando o fornecimento de eletricidade nestes lugares deficiente ou até mesmo inexistente. Ademais, neste estudo, a classificação das tecnologias de energia renovável foi obtida através dos indicadores de sustentabilidade que tiveram seus dados coletados de uma ampla gama de literatura e demonstraram o quão são essenciais tanto no auxílio de alocação de recursos quanto nas formulações de políticas públicas e nas indicações de notas sobre sustentabilidade.

Michael, Noor e Figueroa (2014) realizaram um estudo em que examinaram e compararam os processos, métodos e conjuntos resultantes de indicadores para sustentabilidade urbana realizada em três países em desenvolvimento da Ásia: Malásia, Taiwan e China. O estudo ainda contesta de forma analítica os desafios de desenvolver esses indicadores de sustentabilidade urbana entre os países em desenvolvimento. A comparação foi realizada em embasamentos teóricos e dados extraídos das revisões de literatura referentes ao desenvolvimento de indicadores urbanos em cada um dos países em análise, no intuito de explicar a acessibilidade dos indicadores e discutir se esses indicadores desenvolvidos para cada país foram implementados de forma eficaz, juntamente com quaisquer alterações feitas quando utilizados como ferramenta para avaliar o nível de sustentabilidade dos referidos países. Os resultados demonstraram o esforço realizado por cada país ao integrar todas as dimensões da sustentabilidade (ambiental, social e econômica) no desenvolvimento de seus indicadores. Além disso, diferentes colaboradores destacaram componentes necessários no desenvolvimento de indicadores sustentáveis com vários insumos e a apresentação de diferentes desafios. Os indicadores juntamente com suas informações são ferramentas imprescindíveis para a sociedade que precisam se conscientizar cada vez mais sobre a importância da sustentabilidade. Os desafios enfrentados por esses países devem servir como uma espécie de guia para que continuem avançando em termos de integração política na implementação de indicadores urbanos integrados cada vez mais a economia de serviços e focados para tornar esses países lugares mais sustentáveis para viver.

Em vista da relevância dos indicadores, é essencial pontuar algumas características e funcionalidades intrínsecas a qualquer indicador, para então compreender a relação com a sustentabilidade (CORRÊA, 2019). No que tange a função dos indicadores na avaliação da sustentabilidade ambiental, para Carvalho et al. (2011), os indicadores de sustentabilidade são ferramentas utilizadas para auxiliar no monitoramento da operacionalização do desenvolvimento sustentável, sendo a sua principal função fornecer informações sobre o estado das diversas dimensões (ambientais, econômicas, socioeconômicas, culturais, institucionais, etc.) que compõem o desenvolvimento sustentável do sistema na sociedade.

Os indicadores passaram a ser constituídos como uma espécie de ferramenta desenvolvida com a finalidade de obter informações sobre a realidade, tendo como principal característica o suprimento na necessidade de monitoramento para sintetizar as informações mais complexas, uma vez que funcionam como uma base aos tomadores de

decisões e responsáveis pela formulação de políticas públicas, norteando-os em direção ao desenvolvimento sustentável.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), os indicadores não devem servir apenas aos interesses do Poder Público, para avaliar a eficiência e eficácia das políticas adotadas, mas devem servir também aos interesses dos cidadãos, tornando-se instrumento de cidadania, pois eles podem informar o estado do meio ambiente e da qualidade de vida (CÂMARA, 2002). Entretanto, os indicadores não são e nem devem ser vistos como soluções para todas as dificuldades que envolvem a sustentabilidade, seja na sua avaliação ou na sua operacionalização. O que deve ficar esclarecido é que os indicadores realizem sua função, isto é, sejam capazes de demonstrar os caminhos para avaliação e percepção da sustentabilidade, cabendo a quem os usufruir proceder as demais etapas. Neste contexto, um conjunto de indicadores de sustentabilidade exerce a função de advertir à comunidade sobre riscos e tendências do desenvolvimento, se constituindo como uma carta de navegação sobre o futuro (GUIMARÃES, 1998), em que se vislumbra um destino, se acompanha o trajeto e se corrigem os rumos.

O crescimento econômico das nações tem sido considerado o principal responsável pelos impactos socioambientais negativos. Devido a essa constatação, alguns estudos têm sido direcionados para mostrar que o atual modelo de desenvolvimento é incompatível com a sustentabilidade do meio ambiente e com a qualidade de vida da sociedade. Em resposta a isso, pesquisadores vêm tratando, cada vez mais, de assuntos relacionados ao bem-estar social e ao meio ambiente. Dessa maneira, é possível observar que o Produto Interno Bruto (PIB), antes considerado o principal indicador de desempenho das nações, é insuficiente para informar sobre o uso de recursos naturais e sobre a qualidade de vida da população. Consequentemente impõe-se a necessidade de que a avaliação do desempenho das nações incorpore indicadores de sustentabilidade, de modo que, além do crescimento econômico dos países, se avalie também, o seu desenvolvimento (SANTANA, 2012).

Neste sentido, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) tem se destacado como um indicador absoluto para revelar o nível de desenvolvimento humano nos países. O indicador considera os aspectos sobre a renda, a partir do PIB per capita; da longevidade, a partir de dados da expectativa de vida ao nascer; e da educação, por meio de dados de alfabetização de adultos e anos médios de escolaridade (PNUD, 2010). No que se refere as desvantagens do IDH, Bergh (2009) indicou que a principal delas é o descaso com as questões sobre sustentabilidade ambiental, quando comparado com outros indicadores alternativos (SANTANA, 2012).

Os esforços para o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade aumentaram no início da década de 1990. O desenvolvimento de tais indicadores foi frequentemente conduzido por processos intergovernamentais e, mais recentemente, tem sido realizado a partir de projetos de pesquisas que, na sua maioria, são financiados pelos países da União Europeia e buscam ferramentas para avaliação da sustentabilidade (RAMETSTEINER et al., 2009). Desse modo, para esta pesquisa que utiliza a Análise

Envoltória de dados, indicadores do *Triple Bottom Line* são as principais ferramentas utilizadas com a finalidade de cumprir a função de estruturar as questões-chave sobre o desenvolvimento sustentável e informar as tendências consideradas.

Nesse sentido, a necessidade do desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade se refere ao fato de que deve haver uma base segura de dados que permita a avaliação entre as nações e as políticas utilizadas por elas. O método DEA incorporando indicadores do TBL apresenta indicadores de sustentabilidade atuando nas suas diferentes dimensões (ambiental, social e econômico) de modo a contribuir para que o desenvolvimento sustentável seja mensurado e avaliado utiliza alguns exemplos desses sistemas de indicadores de sustentabilidade, como por exemplo, Produto Interno Bruto (PIB), emissão de dióxido de carbono, expectativa de vida, formação bruta de capital fixo e população ocupada. A figura 2 mostra outros exemplos de indicadores de desenvolvimento sustentável criado por meio do DEA e que estão incorporados no triple da sustentabilidade.

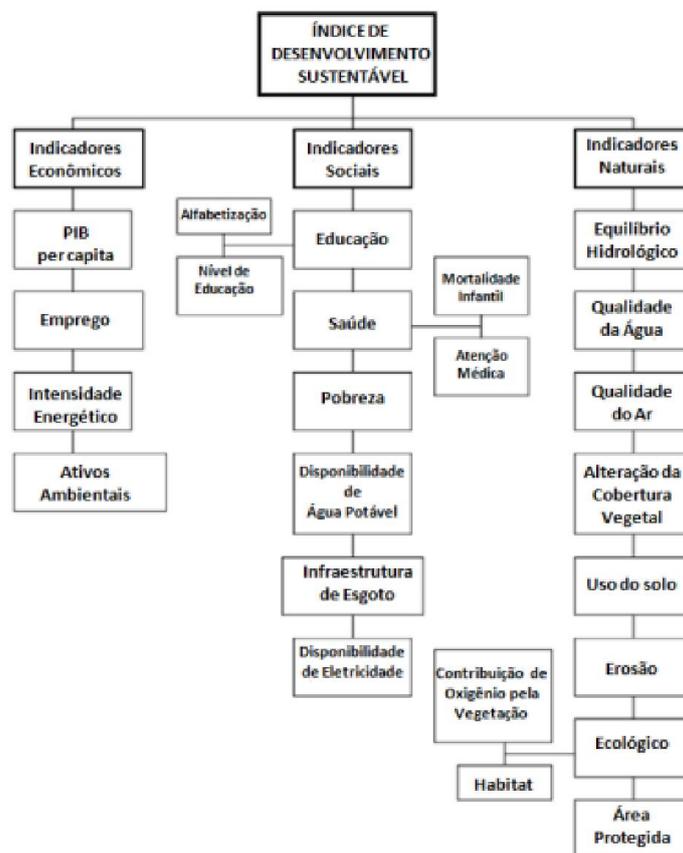


Figura 2 – Árvore representando o Índice de Desenvolvimento Sustentável com 21 Indicadores. Fonte: Roldán e Valdés (2002), traduzido.

O Brasil é um país de grandes dimensões continentais, que apresenta uma enorme diversidade bioclimática e sem homogeneidade de características bioclimáticas e sociais. Neste sentido faz-se necessário a mensuração de indicadores de

desenvolvimento sustentável, a fim de auxiliar na análise criteriosa do melhor caminho a ser seguido e da tomada de decisão mais eficaz de políticas públicas para atingir o equilíbrio sustentável.

2.3 Indicadores de sustentabilidade via *Data Envelopment Analysis* (DEA)

A Análise envoltória de dados (DEA) é uma ferramenta fundamental para a mensuração dos indicadores de sustentabilidade, uma vez que, esta metodologia faz com que a decisão fique sob orientação de um único indicador estruturado a partir de várias aproximações diferentes de desempenho, através da relação ponderada entre inputs e outputs, uma vez que, tal ferramenta se apresenta como uma técnica matemática não paramétrica, baseada em programação linear, que fornece uma medida de desempenho capaz de comparar a eficiência de várias unidades similares, as Decision Making Units (DMU's), mediante a consideração explícita do uso de suas múltiplas entradas para relação a produção de múltiplas saídas (Lins e Meza, 2000). Além disto, este método se faz importante não só por permite avaliar o nível de sustentabilidade de uma determinada região de modo multicriterial, ou seja, considerando-se de maneira integrada todos os vetores do desenvolvimento sustentável apresentados (ambiental, social e econômica), mas também ser capaz de identificar, através de seus modelos, as unidades referência (benchmarks) para as organizações que não têm um desempenho eficiente.

A metodologia DEA foi inicialmente desenvolvida no modelo de Retornos Constantes de Escala (CRS – Constant Returns to Scale), também conhecido por CCR (Charnes, Cooper e Rhodes). Este modelo determina uma fronteira CRS que indica que o crescimento proporcional dos inputs produzirá crescimento proporcional dos outputs. Este modelo tem como propriedades a convexidade, cálculo da ineficiência e o raio ilimitado (que presume a proporcionalidade entre inputs e outputs). Depois, em 1984, foi desenvolvido o modelo Banker, Charnes e Cooper (BCC) ou Variable Returns to Scale (VRS), que assume rendimentos crescentes e decrescentes de escala na fronteira de eficiência. Este modelo surgiu como resultante da partição da eficiência do modelo CCR em duas componentes: a eficiência técnica (VRS) e a eficiência de escala (CRS/VRS). No caso das formulações da DEA, além da escolha entre CRS e VRS existe a necessidade de fixação da ótica de análise (orientação input ou orientação output). Macedo et al (2008a) dizem que a abordagem DEA baseada nas entradas (inputs) busca maximizar as quantidades de produtos, isto é, maximizar uma combinação linear das quantidades dos vários produtos da unidade sob análise. Já para uma abordagem baseada nas saídas (outputs), busca-se minimizar as quantidades de insumos, isto é, minimizar uma combinação linear das quantidades dos vários insumos. Isto é, fornecem um conjunto de unidades com modelos de desempenho com os quais a organização pode se comparar, com o objetivo de melhorar a sua performance (SILVEIRA;MEZA;MELLO, 2012).

Alguns estudos corroboram a eficiência via DEA ao realizarem análises sobre a eficiência ambiental a partir do uso deste método.

Huan Xu e Fangtao Liu (2017) mediram a eficiência da educação e da tecnologia por meio da abordagem DEA com o intuito de relatar implicações no desenvolvimento nacional para que assim, seja possível analisar as atividades de compartilhamento de eficiência no setor de educação e tecnologia e classificar as variáveis de entrada e as variáveis de saída de acordo. Este estudo utilizou os dados do painel dos determinados setores de 53 países. Os autores encontraram que os países com progresso significativo em eficiência educacional e eficiência tecnológica concentram-se principalmente no leste da Ásia, especialmente no Japão, Coréia, Taiwan e alguns outros países em desenvolvimento. Além disto, avaliaram o efeito das eficiências educacionais e tecnológicas na competitividade nacional, desenvolvimento equilibrado do país, eficiência energética nacional, exportação e emprego. A pesquisa constatou que a eficiência da ciência e tecnologia tem efeito sobre o desenvolvimento equilibrado do país, mas a da educação tem desempenhado um papel negativo e que a eficiência educacional tem um grande papel e está relacionada ao desenvolvimento educacional do país de forma positiva. Ainda, foi mostrado que a eficiência educacional e tecnológica tem diferentes graus de contribuição para o desenvolvimento de 2000 a 2014. A abordagem proposta neste artigo foi capaz de fornecer o suporte à tomada de decisão para a formulação de políticas educacionais e tecnológicas, especialmente a seleção das estratégias educacionais e tecnológicas apropriadas para alocação de recursos e avaliação de processos.

Tao Liu et al., 2019 mediram a eficiência ecológica urbana e seus fatores influenciadores em um estudo de caso na província de Henan, localizada na China. Levando em consideração o fato de que a construção da civilização ecológica urbana relaciona-se com o bem-estar do povo e o futuro nacional, a pesquisa teve como objetivo fornecer uma nova perspectiva para o estudo quantitativo do desenvolvimento urbano sustentável, e também provê algumas referências de tomada de decisão para a melhoria da eficiência ecológica urbana na província de Henan. Este artigo usa o modelo de análise de envoltória de dados de medida baseado em folgas (SBM-DEA) contendo a saída indesejável e o modelo de índice de Malmquist para avaliar completamente o nível de eficiência ecológica urbana na província de Henan durante o período de 2005-2016, tanto por meio da análise estática e análise dinâmica. A pesquisa apresentou como resultados que a eficiência ecológica urbana na província de Henan é baixa como um todo e possui um grande espaço ecológico urbano entre as cinco regiões devido às diferentes localizações geográficas e situações de desenvolvimento social e econômico das cidades. Ademais, foi constatado que nos últimos 12 anos, a eficiência ecológica urbana na província de Henan mostrou uma tendência geral de crescimento, e o progresso tecnológico desempenhou um papel importante na promoção da eficiência ecológica urbana na província de Henan. Entretanto, o estudo mostrou que o apoio financeiro governamental dificulta a melhoria da eficiência ecológica urbana na província de Henan, enquanto que o nível de abertura para o mundo exterior; a densidade populacional urbana e o alto crescimento de áreas verdes vêm promovendo a eficiência ecológica urbana na província chinesa.

Refaie, Hammad e Li (2016) também compõem o grupo de estudos que analisaram a eficiência ambiental via DEA no mundo ao realizarem uma pesquisa sobre a economia de energia nos países que fazem parte da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). O foco principal do artigo é determinar a eficiência do uso de energia e seu papel nas emissões de dióxido de carbono (CO₂) e eficiência econômico-ambiental. Para avaliação da qualidade ambiental, foi utilizado a análise envoltória de dados (DEA), que tornou possível avaliar os dados que abrangem o período de 2013 a 2017. Neste estudo, o consumo de energia primária e a população são dois insumos básicos, juntamente com o produto interno bruto (PIB) e emissões de dióxido de carbono que são saídas desejáveis e indesejáveis, respectivamente. Os resultados encontrados demonstraram que Brunei, Austrália, Cingapura e Hong Kong são os estados mais eficazes e eficientes para os períodos de cinco anos (2013–2017) em termos de eficiência energética e redução da emissão de dióxido de carbono e que outros estados da região da OCDE apresentam maior proficiência econômica do que proficiência ambiental. Além disso, os resultados revelaram que a eficiência energética tem forte ligação com as emissões de carbono. Entretanto há uma associação mais fraca entre eficiência econômico-ambiental. Assim, a obtenção de um nível ótimo de eficiência energética pode ser mais fundamental do que a eficiência econômica para melhorar a eficiência ambiental em países da região da OCDE.

Souza (2012) desenvolveu uma avaliação comparativa do desempenho energético em função do crescimento econômico, sustentabilidade e desenvolvimento humano em países em desenvolvimento entre 1993 a 2009. Neste estudo foi utilizado o método DEA (BCC) devido ao fato dos países em análise possuírem tamanhos diferentes. Nesta análise, o autor optou por elencar o grupo de países em desenvolvimento a partir do grupo G-20 criado pela Organização Mundial do Comércio (OMC). Além dos países listados no G-20 o estudo buscou analisar os países do BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul). Assim a Rússia foi incluída no conjunto de DMU's que resultou em um composto de 21 países: África do sul, Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, China, Egito, Equador, Filipinas, Guatemala, Índia, Indonésia, México, Paquistão, Peru, Paraguai, Rússia, Tanzânia, Tailândia, Uruguai e Venezuela. Diante disso, O calculo do Fator Total de Eficiência Energética (TFEE) via DEA, mostrou-se uma importante ferramenta para a verificação de tendências de eficiência energética considerando não somente o consumo energético, mas também a influencia da força de trabalho e do capital no processo produtivo, além das trocas entre esses vários fatores. Avaliando os resultados obtidos, constatou-se que a China embora estando entre os países com menor TFEE, apresentou-se forte tendência de crescimento para este índice, juntamente com Chile, filipinas e Tailândia. Por outro lado, África do Sul, Equador, Indonésia, Tanzânia e Venezuela apresentaram tendências decrescentes para o TFEE. Ainda, a maioria dos países do grupo G-20 da OMC, demonstraram seus valores de TFEE mais ou menos estabilizados em torno de um mesmo valor. De maneira geral, foi possível concluir que, os países em desenvolvimento necessitam continuar seu processo de crescimento, priorizando, no entanto, o uso de tecnologias e processos de uso racional de energia. Além disso, o caminho da sociedade global rumo ao desenvolvimento sustentável

envolve o desafio de vencer paradigmas na busca de novos modelos, que operem de forma mais inclusiva do ponto de vista social e eficiente na sua relação com o meio ambiente.

Para o Brasil há também grupo de estudos que analisaram a eficiência ambiental via DEA.

Macedo, Ferreira e Cípola (2011) analisaram o nível de sustentabilidade das 27 unidades federativas (UFs) do Brasil e de suas capitais. Utilizando a metodologia de Análise Envoltória de Dados (DEA), os autores tiveram como foco o intuito de gerar um indicador de sustentabilidade denominado Índice Consolidado de Desenvolvimento Sustentável (ICDS). A pesquisa demonstrou que o Distrito Federal e a cidade de Vitória no Espírito Santo são destaques positivos, enquanto que o Maranhão e a cidade de Maceió em Alagoas obtêm resultados ruins em termos de desenvolvimento sustentável. Uma questão relevante, que surge da comparação destes rankings é a posição dos estados de Alagoas e do Piauí, que possuem enquanto UFs desempenhos ruins e que têm suas capitais também com baixo nível de sustentabilidade. Através do estudo é possível perceber que a situação é realmente preocupante e que necessita de uma intervenção urgente, com desenvolvimento de políticas públicas que envolva as instâncias municipal, estadual e federal.

O estudo de Gomes, Mello e Mangabeiras (2008) sobre a sustentabilidade agrícola em um município amazônico tem como objetivo medir a sustentabilidade em agricultura a partir de modelos Análise de Envoltória de Dados com restrições aos pesos, que segundo os autores podem ser inconsistentes com o conhecimento em relação aos valores relativos de inputs e outputs. As DMUs do modelo DEA são os produtores rurais amostrados e que foram entrevistados pela pesquisa de campo em Machadinho d'Oeste em 1986 e em 2002. Adicionalmente, foi estudado apenas o grupo de produtores rurais familiares que se mantiveram no lote, em um total de 76. Nesta abordagem, além de considerar várias dimensões, a medida de eficiência resultante é calculada de forma relativa. Além disso, foi utilizado um modelo no qual se explora o desempenho econômico-ambiental para dois períodos de tempo, 1986 e 2002. Ademais, a proposta da pesquisa em relação ao modelo dos multiplicadores é de interesse somente em avaliar a medida de eficiência e a quantidade de pesos zero atribuídos às variáveis. A utilização dos dois enfoques e da abordagem empregada no estudo possibilitam os autores visualizarem amplamente a situação dos agricultores na região. Os resultados encontrados demonstraram que a análise temporal com a comparação das DMUs eficientes em um único modelo sugere que não há nem sustentabilidade do ponto de vista econômico nem ambiental. Com relação a análise do modelo dos multiplicadores, esta trouxe resultados importantes. Os autores verificaram que a variável ambiental considerada (área com mata), mesmo quando sua importância relativa foi imposta superior à da renda bruta, é limitante para a sustentabilidade dos agricultores e no que tange o aspecto econômico, a variável mão de obra manteve-se como fator limitante. Em face do exposto, o artigo contribui para enfatizar a necessidade de um olhar crítico e

de uma forte revisão por parte dos governantes e criadores de políticas públicas tanto para região do município quanto para a situação dos produtores agrícolas.

Castelão, Souza e Frainer (2021) analisaram a evolução do desenvolvimento de 78 municípios pertencentes ao Mato Grosso do Sul, entre os anos de 1991, 2000 e 2010. Utilizando a análise envoltória de como método, os autores encontraram como resultados que alguns municípios do estado registraram desenvolvimento sustentável enquanto outros não, ou seja, houve eficiência alocativa nos insumos das variáveis econômica e social, contudo, no caso do meio ambiente não se registra melhora significativa. Além disso, foi constatado o fato de que os municípios que registraram melhor índice de desenvolvimento sustentável possuem como características: taxa populacional menor, aumento médio na melhoria de cobertura de domicílios com água encanada e coleta de lixo entre 1991 e 2010 e variações pequenas de consumo de combustível entre os períodos estudados, o que torna evidente que estes conseguiram se desenvolver sustentavelmente devido à pressão humana causada sobre o meio ambiente não ser tão expressiva quanto nos demais municípios estudados, que por sua vez apresentam taxas de crescimento populacional maiores. Sendo assim, estes municípios conseguiram ser mais eficientes na alocação dos recursos concomitantemente a conservação e preservação do meio ambiente. O artigo contribuiu para expressar uma realidade para o estado de Mato Grosso do Sul, deixando evidente, que a região acompanha a realidade nacional em relação à forma das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Silvia e Périco (2021) estudaram a eficiência e a sustentabilidade sob uma análise econômica, social, ambiental e sustentável das usinas paulistas de cana-de-açúcar. Em um contexto onde o sucroenergético brasileiro constitui um campo marcado por diferenças produtivas significativas desde períodos coloniais, o objetivo do artigo é analisar a eficiência das usinas de cana-de-açúcar do estado de São Paulo, no período de 2007 a 2016, sob as óticas econômica, social, ambiental e sustentável, via metodologia de Análise Envoltória de Dados (DEA), gerando modelos de eficiência robustos e completos. Os autores encontraram que as usinas de grande porte possuem alta eficiência econômica, devido a economias de escala, além de que as usinas de porte pequeno obtiveram alto ranqueamento nas óticas social e ambiental, demonstrando que não há necessariamente viés de grandeza operacional nessas análises. Ainda, foi observada a preponderância de usinas sustentáveis benchmarks para as unidades de portes grande e pequeno, conjuntamente com o perfil etanol. Diante disso, a pesquisa possui caráter inovador, por criar um modelo sustentável aplicável à agroindústria sucroenergética, algo não realizado por nenhuma outra pesquisa, nacional e internacional, para um período significativo de tempo: 2007 a 2016. Portanto, segundo os autores, o trabalho buscou preencher tal lacuna na literatura, enfatizando um número significativo de usinas e tempo, além de considerar abordagens relevantes para o atual estágio do sistema capitalista.

3. MÉTODO

Após discutir estudos acerca do desenvolvimento sustentável e indicadores de sustentabilidade, é necessário escolher o método adequado que responda o problema de pesquisa desta monografia. Desta forma, este capítulo apresenta as características da pesquisa, os objetivos propostos e o detalhamento do método utilizado para o cálculo do desempenho brasileiro em relação ao desenvolvimento sustentável.

3.1 BASE DE DADOS

O Brasil foi escolhido como estudo de caso, a fim de ser realizada uma análise de eficiência com relação ao desenvolvimento sustentável. Para este estudo, o método de programação matemática chamado Análise por Envoltória de Dados (DEA) será utilizado. As variáveis selecionadas decorrem da literatura apresentada, levando em consideração a relevância de cada uma delas. Sendo assim, considerando que a eficiência de um país deve ser avaliada por indicadores que considerem os três pilares da sustentabilidade, tem-se emissão de CO₂ (ambiental), Produto Interno Bruto – PIB (econômico) e expectativa de vida (social). Além disto, foi pertinente a inclusão das variáveis Estoque de Capital (Investimento) e número de pessoas empregadas.

TABELA 1 – VARIÁVEIS ANALISADAS.

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	FONTE
PRODUTO INTERNO BRUTO - PIB	Indicador econômico utilizado para quantificar a atividade econômica de uma região. É a soma do valor de todos os bens e serviços produzidos por um país em um determinado período de tempo (geralmente um ano).	IBGE/ IPEA
EXPECTATIVA DE VIDA	Estimativa que determina a quantidade de anos em média que uma população viverá, levando em consideração a taxa de mortalidade da região.	IBGE
	Exalação do dióxido de carbono, responsável por cerca de 60% do efeito-estufa, cuja permanência na atmosfera é de no mínimo 100 anos. É emanado pela queima de	

EMISSÃO DE CO ₂	combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo, gás natural), queimadas e desmatamentos, que destroem reservatórios naturais que tem a capacidade de absorver o CO ₂ do ar.	SEEG
ESTOQUE DE CAPITAL	Todo capital de uma economia mantido através dos fluxos de produção, ou seja, dos investimentos. Vale ressaltar que é incluído no conceito de capital as fábricas, máquinas e equipamentos. É do estoque de capital que se origina a capacidade de produção de uma nação.	IBGE/ IPEA
NÚMERO DE PESSOAS EMPREGADAS	Numero de pessoas que em um determinado período de referencia, se encontram trabalhando.	IBGE

Fonte: Elaborado pela autora.

3.2 Data Envelopment Analysis (DEA)

Neste artigo, para consolidar o nível de sustentabilidade, utiliza-se uma ferramenta de análise multicritério: a análise envoltória de dados (DEA). Com esta ferramenta é possível avaliar o nível de sustentabilidade do Brasil de modo multicritério, considerando-se de maneira integrada todos os vetores do desenvolvimento sustentável apresentados (variáveis das dimensões ambiental, social e econômica). Tal técnica proposta por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), além de mensurar a eficiência, é uma técnica baseada em um modelo de programação linear utilizada como uma ferramenta relativa de calculo ponderado que retorna índices estabelecendo assim, os melhores pesos.

A análise envoltória de dados (DEA), segundo Lins & Meza (2000) e Soares de Mello et al. (2005), apresenta-se como um método matemático não paramétrico, baseada em programação linear, que fornece uma medida de desempenho capaz de comparar a eficiência de várias unidades similares e homogêneas, as *Decision Making Units* (DMUs), mediante a consideração explícita do uso de suas múltiplas entradas para a produção de múltiplas saídas. Desta forma, este método orienta a decisão e análise por um único indicador, construído a partir de várias abordagens de desempenho diferentes, por meio da relação ponderada entre inputs e outputs (MACEDO, 2009).

A eficiência de um sistema pode ser definida como sendo a capacidade desse sistema de utilizar, da melhor maneira possível, os recursos disponíveis e de aproveitar, ao máximo, as condições ambientais para obter o desempenho ótimo em alguma dimensão. Um índice de eficiência pode ser obtido comparando-se um indicador de desempenho com o valor máximo que esse indicador pode alcançar; valor esse definido a partir de algumas condições de contorno (ambiente + recursos disponíveis) (ALMEIDA; MARIANO; REBELATO, 2006).

O DEA é um método de avaliação de eficiências comparativas de Unidades de Tomada de Decisão (DMU), que são variáveis de desempenho relativo de um sistema produtivo. O cálculo da eficiência relativa de uma DMU é feito pela razão da soma ponderada de produtos (outputs) pela soma ponderada de insumos necessários para gerá-los (inputs) (MELLO, 2004). Assim, levando em consideração que a eficiência é o método de conseguir o melhor rendimento com o mínimo de erros, ela sempre será, por definição, um valor entre 0 e 1, podendo também ser expresso em porcentagem, isto é, de 0 a 100%. Assim sendo, apenas as unidades que obtêm índice de eficiência igual a um é que fazem parte da chamada fronteira eficiente.

As técnicas de análise de eficiência não se limitam apenas ao cálculo da eficiência de uma empresa. Segundo Mariano et. al. (2007) elas podem analisar a eficiência de qualquer sistema que transforme um conjunto de inputs (entradas) em um conjunto de outputs (saídas). Diante disto, são aptas a analisar também repartições públicas, agregações beneficentes e países.

Devido a grande flexibilidade do conceito de eficiência produtiva e da grande variedade de situações em que o conceito de eficiência se enquadra, fez-se necessário a formulação para a “unidade em análise” que englobasse toda a flexibilidade do conceito de eficiência produtiva. O conceito que mais se adequou a essa grande variedade de situações foi o conceito de Unidade Tomadora de Decisão (DMU - Decision Making Units), pois segundo Mello et. al. (2005), uma maior ou menor produtividade está relacionada a decisões tomadas pelas unidades em estudo. Uma DMU pode ser definida como todo tipo de sistema produtivo que processa um conjunto de entradas (inputs) em um conjunto de saídas (outputs) (MARIANO, 2007).

A metodologia DEA foi inicialmente desenvolvida no modelo de retornos constantes de escala (CRS – constant returns to scale), também conhecido por CCR, (CHARNES, COOPER & RHODES, 1978), em homenagem aos seus autores. Este modelo determina uma fronteira CRS, a qual indica que crescimento proporcional dos inputs produzirá crescimento proporcional dos outputs. Este modelo tem como propriedades a convexidade, o cálculo da ineficiência e o raio ilimitado (que presume a proporcionalidade entre inputs e outputs). Depois, em 1984, foi desenvolvido o modelo BCC (BANKER, CHARNES & COOPER, 1984) ou VRS (variable returns to scale), que assume rendimentos crescentes e decrescentes de escala na fronteira de eficiência. Este modelo surgiu como resultante da partição da eficiência do modelo CCR em duas componentes: a eficiência técnica (VRS) e a eficiência de escala (CRS/VRS)

(MACEDO, 2009). O modelo BCC permite identificar se o retorno a escala é constante (escala de produção não influi), crescente (aumento de escala garante aumento de produtividade) ou decrescente (aumento de escala provoca decréscimo na produtividade) (ALMEIDA; MARIANO; REBELATO, 2006).

Na elaboração da DEA, além das da escolha entre CRS e VRS existe a necessidade da escolha das duas orientações do modelo: orientação input (para insumos) ou orientação output (para produto). Por exemplo, no caso da orientação ser para minimização dos inputs, o modelo busca responder a seguinte questão: dado o nível de outputs que uma unidade produz qual a redução que pode ocorrer nos inputs de modo a manter o corrente nível de outputs? Já os modelos orientados para a maximização dos outputs procuram responder à questão: dado o nível de inputs utilizado, qual o maior nível de outputs que se pode alcançar mantendo-se o nível dos inputs constante? (VILELA, 2004).

Em face do exposto, para este trabalho selecionou-se o Brasil como a DMU. Com relação às variáveis utilizadas, foi levado em consideração que a eficiência de um país deve ser avaliada por indicadores que considerem os três pilares da sustentabilidade: ambiental, econômico e social. Assim, como inputs utilizou-se a variável que deseja-se diminuir, no caso: emissão de CO₂. Como outputs utilizou-se variáveis que deseja-se aumentar: Produto Interno Bruto - PIB, expectativa de vida ao nascer, estoque de capital e número de pessoas empregadas.

Neste estudo foi utilizado o modelo DEA-VRS. A escolha do modelo VRS se deu pelo fato de ter-se unidades de tamanhos distintos, o que indica uma modelagem com retornos variáveis de escala e devido ao intuito do trabalho que visa a maximização dos outputs sem provocar a diminuição dos inputs. Em relação a orientação, a de outputs se deu pelo intuito de aumentar (maximizar) os indicadores de sustentabilidade, uma vez que segundo Macedo et al (2008), a DEA pode ser utilizada como um método multicritério, quando se utiliza indicadores do tipo quanto maior melhor no lugar dos outputs. O modelo dos multiplicadores do BCC é apresentado na Equação:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Ec &= \sum_{j=1}^s u_j y_{jc} + u' \\
 \text{S. a. : } &\sum_{i=1}^m v_i X_{ic} = 1 \\
 &\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + u' \leq 0, K = 1, 2, \dots, c, \dots, n \\
 &U_j, v_i \geq 0, \forall x, y
 \end{aligned}$$

Os modelos DEA também identificam as unidades referência (benchmarks) para as organizações que não têm um desempenho eficiente. Isto é, fornecem um conjunto de unidades com modelos de desempenho com os quais a organização pode se comparar, com o objetivo de melhorar a sua performance (SILVEIRA; MEZA; MELLO, 2012).

Desta forma, considerando que os modelos de eficiência ambiental e de desenvolvimento sustentável possuem outputs indesejáveis, no presente trabalho a emissão de CO₂ é a output indesejável.

A formulação dos modelos DEA é democrática, no sentido que cada DMU pode escolher ressaltar as suas melhores características. Este fato faz tornar possível que um grande número de DMUs se localize na fronteira eficiente, reduzindo sua capacidade discriminatória. Por determinação empírica, o empate delas acontece principalmente quando o número de DMUs não é muito grande em comparação com o número total de *inputs* e *outputs*. Ao longo dos anos, têm-se desenvolvido diferentes modelos com o objetivo de melhorar a discriminação em DEA (ADLER; FRIEDMAN; SINUANY-STERN, 2002; ANGULO-MEZA; LINS, 2002). Um dos métodos que permite essa melhor discriminação é a fronteira invertida.

Este método avalia a ineficiência de uma DMU construindo uma fronteira constituída pelas unidades com as piores práticas gerenciais, chamada de fronteira ineficiente. As projeções das DMUs na fronteira invertida indicam um anti-alvo que é a combinação linear de anti-benchmarks (SILVEIRA; MEZA; MELLO, 2012). Portanto, a fronteira invertida também será utilizada para identificar a visão pessimista da DMU em análise, ou seja, torna nítido o que ela tem de pior. Para o cálculo da fronteira de ineficiência é feita uma troca dos *inputs* com os *outputs* do modelo DEA original.

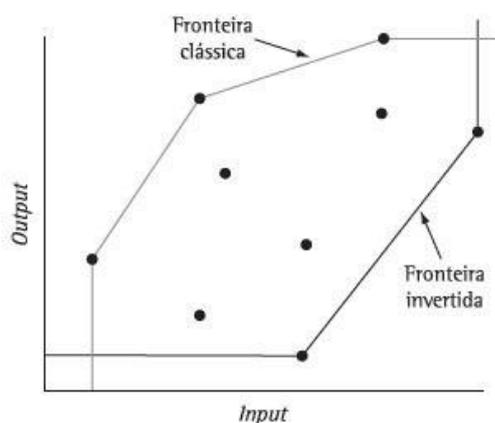


Figura 3 – Fronteira DEA BCC Clássica e Invertida
Fonte: (SILVEIRA; MEZA; MELLO, 2012)

Segundo Silveira; Meza; Mello (2012) a avaliação da fronteira invertida pode ser empregada como forma de contornar o problema da baixa discriminação em DEA e ainda ordenar as DMUs. É calculado um índice de eficiência agregado, conforme descrito na Equação abaixo, que é a média aritmética entre a eficiência em relação à fronteira original e a ineficiência em relação à fronteira invertida. Esse índice de eficiência pode ser apresentado de forma normalizada - basta dividir todos os valores pelo maior índice calculado. Assim, para uma DMU ter máxima eficiência composta,

ela precisa ter bom desempenho na fronteira padrão e não ter bom desempenho na fronteira invertida. Isso implica que a DMU seja boa naquelas características em que tem bom desempenho e não seja tão ruim naquelas em que seu desempenho não muito bom.

$$\text{Eficiência Composta} = \frac{\text{eficiência padrão} + (1 - \text{eficiência invertida})}{2}$$

3.3 Resultados e Discussão

Esta seção discute os resultados encontrados nesta monografia, a fim de analisar o desenvolvimento econômico sustentável no Brasil para o ano de 2019. O trabalho analisou as 26 unidades federativas que compõem o Brasil. Assim, observa-se por meio das descrições dos resultados, onde o processo do desenvolvimento sustentável correspondeu a uma distribuição do bem-estar social, principalmente, nas cinco grandes regiões do país, uma vez que os dados das unidades federativas foram analisados em sua grande maioria inseridos na macrorregião na qual integra.

A Tabela 2 traz o ranking do indicador de sustentabilidade calculado por meio do *Data Envelopment Analysis (DEA)*. Esta tabela é composta pela Fronteira Padrão, que demonstra as unidades com o melhor desempenho para a sustentabilidade, que emitindo menos gases mais empregos. A segunda coluna da tabela traz a fronteira invertida, que ao contrário da fronteira padrão, demonstra as unidades com os piores resultados e que mais poluem. O Índice Composto apresenta a média das duas fronteiras (padrão e invertida) e é calculado para criar um ranking das unidades federativas sem empates. O Índice Composto Normalizado revela os resultados finais do ranking, apresentando os valores do Índice Composto normalizados por máximos e mínimos, entre 0 e 1. O cálculo do Índice Composto Normalizado é feito para facilitar a interpretação dos resultados. Por fim, a tabela traz o ranking das unidades federativas.

TABELA 2 – RANKING DAS UNIDADES FEDERATIVAS DO BRASIL

UFs	Fronteira Padrão	Fronteira Invertida	Índice Composto	Índice Composto Normalizado	Ranking
Rio Grande do Norte	1	0,083464542	0,958267729	1	1
Sergipe	1	0,099692029	0,950153986	0,991532906	2
Alagoas	1	0,105622982	0,947188509	0,988438283	3
Pernambuco	0,996210275	0,12892301	0,933643632	0,974303532	4
Paraíba	0,805986072	0,108489131	0,84874847	0,885711211	5
Ceará	0,702072079	0,144126116	0,778972982	0,812897021	6
Amapá	1	0,489355789	0,755322105	0,788216156	7
São Paulo	1	0,574624177	0,712687911	0,743725255	8
Espírito Santo	0,491989422	0,124698606	0,683645408	0,71341796	9
Rio de Janeiro	0,633316549	0,31918815	0,6570642	0,685679148	10
Santa Catarina	0,545857673	0,239383168	0,653237253	0,681685538	11
Piauí	0,441215303	0,15655075	0,642332277	0,670305654	12

Paraná	0,528116815	0,372426181	0,577845317	0,603010307	13
Bahia	0,378113433	0,378984955	0,499564239	0,521320111	14
Rio Grande do Sul	0,556303375	0,574700073	0,490801651	0,512175915	15
Goiás	0,43835644	0,677079084	0,380638678	0,397215378	16
Maranhão	0,120326262	0,381624213	0,369351024	0,38543615	17
Minas Gerais	0,403014509	0,774995822	0,314009343	0,327684356	18
Mato Grosso do Sul	0,271519312	0,70753192	0,281993696	0,294274437	19
Amazonas	0,206563524	0,659611135	0,273476194	0,285386	20
Tocantins	0,135876987	0,772886674	0,181495157	0,189399216	21
Roraima	0,135876987	1	0,060090309	0,062707224	22
Pará	0,08080518	1	0,04040259	0,042162111	23
Mato Grosso	0,063931649	1	0,031965825	0,033357927	24
Acre	0,050390309	1	0,025195155	0,026292396	25
Rondônia	0,034469593	1	0,017234796	0,017985366	26

Fonte: Elaborado pela autora

Os resultados obtidos pelo ranking mostram que das 26 unidades federativas analisadas, as cinco primeiras, ou seja, as Top-5 da tabela são unidades federativas localizadas na região Nordeste, a saber: Rio Grande do Norte (1º lugar), Sergipe (2º lugar), Alagoas (3º lugar), Pernambuco (4º lugar) e Paraíba (5º lugar). Vale destacar que o sexto lugar no ranking também é ocupado por unidade federativa do Nordeste, o Ceará. Este resultado é importante, pois sinaliza quais unidades federativas estão aptas a receber recursos a fim promover o desenvolvimento sustentável no Brasil. Em outros termos, estas regiões merecem destaque, pois conseguem promover a utilização da riqueza para gerar empregos, mas sem causar forte degradação ambiental relativamente às demais unidades federativas.

Percebe-se que a maioria dos estados do Sudeste estão posicionados após os Top-5 estados do ranking de sustentabilidade, demonstrando que esta região tem destaque no ranking de sustentabilidade analisado nesta monografia. A região composta pelos estados de São Paulo, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Minas Gerais junto à região Sul é considerada o berço do crescimento econômico do país. Isto porque, é responsável por mais da metade do PIB e possui o maior número de habitantes. Porém, somente o crescimento econômico não colocou estes estados no topo do ranking, demonstrando que o crescimento econômico isolado não assegura o desenvolvimento sustentável. Apesar de gerarem riqueza e empregos, a quantidade de emissão de poluentes é significativo na região Sudeste.

Vale destacar que apenas uma unidade federativa da região Norte se encontra no TOP-10 do ranking, o Amapá. A região Norte apresenta a pior média de rendimento. Isto coloca diversas unidades federativas no Bottom-5 do ranking de sustentabilidade, a saber: Roraima (22º lugar), Pará (23º lugar), Acre (25º lugar) e Rondônia (26º lugar) e Mato grosso do Centro-Oeste em 24º lugar. Tais regiões não obtiveram boas colocações demonstrando falta de eficiência no *Triple Bottom Line*. Em outros termos, embora o

Norte apresente ambiente propício para questões ambientais (abrigue a floresta Amazônica, possui imensos recursos hídricos, com a bacia Amazônica e a Tocantins (consideradas as maiores do mundo), rios navegáveis e de grande extensão e vários recursos minerais como a cassiterita, a bauxita e o manganês) a região carece de aspectos econômicos (a dificuldade de gerar riqueza e a desigualdade de distribuição da renda como resultados das sucessivas instabilidades presentes nas atividades em que a economia da região se baseia: industriais, de extrativismo vegetal e mineral e na agricultura) e sociais (de acordo com a pesquisa realizada pelo Centro de Integração de Dados e Conhecimentos para Saúde da Fundação Oswaldo Cruz - Bahia (Cidacs/Fiocruz Bahia) e publicadas no site OLiberal.com, a região Norte possui alto índice de desigualdade social, medido com base em dados socioeconômicos, sociodemográficos e de acesso aos serviços de saúde onde 98% dos municípios da região se classificaram nos grupamentos 4 e 5 (nível máximo) de desigualdade social em janeiro de 2020) para atingir as melhores colocações no ranking de desenvolvimento sustentável. O mesmo problema ocorre na região Centro-Oeste do país. Segundo Visconti e Santos (2014) além das queimadas e da exploração dos recursos naturais de maneira desordenada, a urbanização vem causando sérios impactos ambientais.

A Tabela 3 demonstra o Top-5 e o Bottom-5 do ranking de sustentabilidade, em que é possível observar que as Bottom-5 possuem uma significativa quantidade de emissão de gases poluentes e a baixa capacidade de gerar emprego em relação às regiões Top-5 do no ranking. Tal fato pode ser atribuído à questão do pouco investimento em políticas pública para diminuir os impactos ambientais das atividades agropecuárias sobre a biodiversidade que ocorrem em grande escala na região como, por exemplo, os desmatamentos, as queimadas e a poluição do solo e para melhorar o desenvolvimento econômico desses estados, uma vez que a maioria tem suas atividades econômicas vinculadas ao ramo agroindustrial executado sem inovações tecnológicas que auxiliariam em uma produção mais eficiente e com menor degradação ambiental.

TABELA 3 – TOP-5 E BOTTOM-5 DAS UNIDADES FEDERATIVAS DO BRASIL

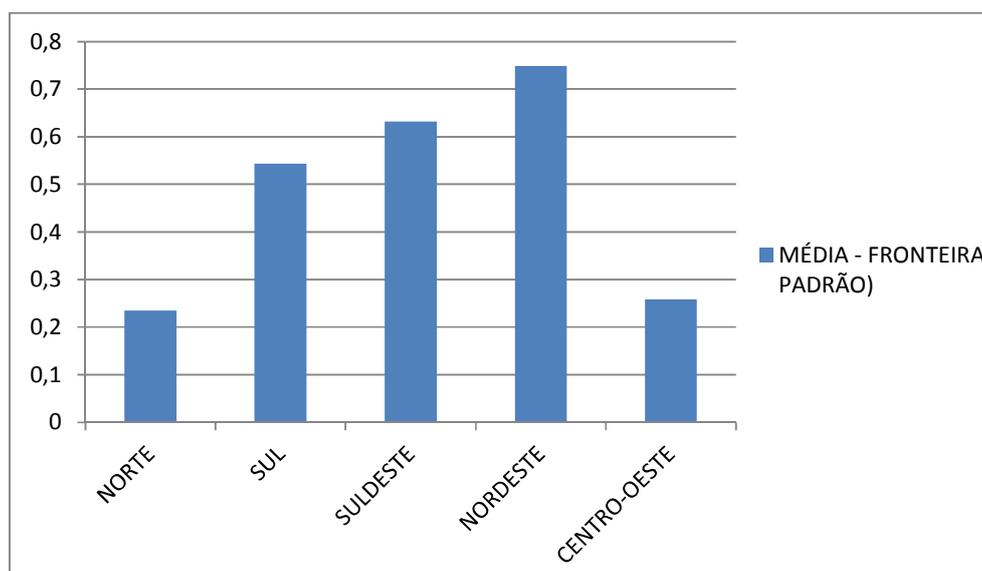
<i>Top-5 Unidades Federativas</i>						
Ufs	Índice Composto Normalizado	Ranking	PIB (%)	Emprego	Emissão de Co2	Emissão de CH4
Rio Grande do Norte	1	1	1	597.452	5.094.538	119.365
Sergipe	0,991532906	2	0,6	352.870	5.293.197	102.666
Alagoas	0,988438283	3	0,8	486.716	3.367.856	129.914
Pernambuco	0,974303532	4	2,7	1.577.452	11.167.792	300.493
Paraíba	0,885711211	5	0,9	643.800	6.225.262	144.297
<i>Bottom-5 Unidades Federativas</i>						
Ufs	Índice Composto Normalizado	Ranking	PIB (%)	Emprego	Emissão de Co2	Emissão de CH4
Roraima	0,062707224	22	0,2	101.497	31.531.209	128.814

Pará	0,042162111	23	2,4	1.081.969	234.773.604	1.854.580
Mato Grosso	0,033357927	24	1,9	856.035	155.312.337	2.330.798
Acre	0,026292396	25	0,2	125.272	29.267.644	282.937
Rondonia	0,017985366	26	0,6	347.411	71.586.033	1.029.832

Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 4 ilustra a média do rendimento das unidades federativas. Note que a região Nordeste obteve um melhor resultado, apresentando o primeiro lugar entre as demais regiões, com média igual a 0,7487. Em seguida, aparece a região Sudeste, que totalizou média de rendimento igual a 0,6321, seguida pelo Sul (0,5434), Centro-Oeste (0,2579) e Norte (0,2349).

FIGURA 4 - MÉDIA DA EFICIÊNCIA DE RENDIMENTO POR REGIÃO



Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados de 2019

4. CONCLUSÃO

Este trabalho contribuiu por revelar quais Unidades federativas do Brasil devem ser priorizadas para o recebimento de recursos públicos, com o intuito de gerar o desenvolvimento econômico sustentável no Brasil. Esta monografia revelou que os estados que apresentam maiores dificuldades para alcançar o desenvolvimento sustentável são os que compõem a região Norte. Em contrapartida, os estados da região Nordeste apareceram no topo do ranking de sustentabilidade, para desenvolver uma economia sustentável sem deixar de lado a priorização dos recursos ambientais e o bem-estar da sociedade.

Os resultados apresentados são relevantes para formuladores de políticas públicas dos estados que compõem o Brasil, além das autoridades federais e órgãos que possuem a função de disponibilizar recursos financeiros em prol do desenvolvimento sustentável.

Isto porque, este trabalho revelou as regiões e as principais unidades capazes de utilizar os recursos financeiros de forma eficiente. Deste modo, unidades federativas como Rio Grande do Norte e Pernambuco têm utilizados os recursos de forma adequada, apresentando uma fronteira padrão significativa, demonstrando ótimos desempenhos para redução dos gases poluentes, gerando e atraindo mais empregos e, conseqüentemente, mais riqueza. Além disso, unidades federativas, como São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul têm feito boa utilização dos recursos, embora apresentem dificuldades de gerar desenvolvimento sustentável, devido à significativa emissão de poluentes. E como observado durante toda a análise dos resultados, a atenção maior é necessariamente direcionada às regiões Centro-Oeste e, principalmente, o Norte que necessitam de uma atenção mais específica por parte de governadores e gestores públicos dispostos a discutir e encontrar caminhos para que a região supere esses gargalos e avance na melhoria de vida da população, sem deixar de lado o meio ambiente. Finalmente, este estudo conclui que o desenvolvimento sustentável no Brasil é o caminho e a solução para um futuro promissor, em que ações como a conscientização humana na utilização dos gastos sociais, ambientais e econômicos e a aplicação das melhores práticas e uso das políticas globais que auxiliem os gestores nas tomadas de decisões futuras remetem ao conceito da sustentabilidade, que está ligada a essas ações e oferece como resultado o crescimento econômico, a preservação do meio ambiente e a redução da desigualdade social.

REFERÊNCIAS

- ADLER, N.; FRIEDMAN, L.; SINUANY-STERN, Z. Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. *European Journal of Operational Research*, v. 140, n. 2, p. 249-65, 2002.
- ALMEIDA, M.R. ; MARIANO, E.B. ; REBELATTO, D.A.N. Análise Por Envoltória De Dados - Evolução E Possibilidades De Aplicação. In: IX SIMPOI - Simpósio de Administração de Produção, Logística e Operações Internacionais, São Paulo, Anais, 2006.
- ANGULO-MEZA, L.; LINS, M. P. E. Review of methods for increasing discrimination in Data Envelopment Analysis. *Annals of Operations Research*, v. 116, n. 1-4, p. 225-42, 2002.
- ARRAES, R. A.; DINIZ, M. B.; DINIZ, M. T. Curva Ambiental de Kuznets e Desenvolvimento Econômico Sustentável. *Revista de Economia Rural*. Rio de Janeiro, v.44, n.03, p.525-547, jul/set, 2006.
- BOFF, Leonardo. *Sustentabilidade: o que é – o que não é*. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

- BOSSSEL, H. **Indicators for Sustainable Development: theory, method, applications**. A report to the Ballaton group. Canadá: International Institute for Sustainable Development (IISD), 1999.
- CÂMARA, J. B. D. (Org). GEO BRASIL 2002: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente PNUMA. Edições IBAMA, Brasília, 2002.
- CAMIOTO, F. C.; MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. A. N. Efficiency in Brasil's industrial sectors in terms of energy and sustainable development. **Environmental Science & Policy**. Londres, 2014.
- CARVALHO, J. R. M. de; CURI, W. W. F; CARVALHO, E. K. M. de A, CURI, R. C. Proposta e validação de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas: estudo de caso na sub-bacia do alto curso do Rio Paraíba, PB. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 23, n. 2, agosto 2011.
- CARVALHO, Natália Leal de, et al. **Desenvolvimento sustentável x desenvolvimento econômico**. Revista Monografias Ambientais, Santa Maria, v. 14, no 3, p. 109-117, set./dez. 2015, p. 112.
- CHEN, X.; CHEN, Z. Can Green Finance Development Reduce Carbon Emissions? Empirical Evidence from 30 Chinese Provinces. *Sustainability* 2021, v.13, 12137, nov.2021
- COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **A Agenda 21**. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995.
- CORRÊA, Jacklinne Matta. **Avaliação da sustentabilidade do município de Laranjal do Jari – Amapá: Aplicação do método barômetro da sustentabilidade**. Macapá, 2019. 152 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional.
- DALCHIAVON, Eloisa Carla et al. Barômetro de sustentabilidade estadual: Uma aplicação na Região Sul do Brasil. **Gestão e Desenvolvimento**, Novo Hamburgo, v.14, n.1, Jan./jun. 2017.
- EVANS, A., STREZOV, V. and Evans, T.J. (2009) Assessment of Sustainability Indicators for Renewable Energy Technologies. **ELSEVIER**, Volume 13, Issue 5, June 2009, Pages 1082-1088
- FISK, Peter. **People Planet Profit: How to Embrace Sustainability for Innovation and Business Growth**. London: Kogan Page, 2010.
- FRANCA, L. P. Indicadores ambientais urbanos: revisão da literatura. *Parceria* 21, 2001.

GOMES, Eliane Gonçalves; MELLO, João Carlos Correia Baptista Soares de; MANGABEIRA, João Alfredo de Carvalho. Estudo da sustentabilidade agrícola em um município amazônico com análise envoltória de dados. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro, v.29, n.1, p.23-42, Janeiro a Abril de 2009.

Grossman, G. M. & Krueger, A. B. (1991), “Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement”, NBER Working Paper nº 3914.

GUIMARÃES, R. P. Aterrizando una Cometa: indicadores territoriales de sustentabilidad. Santiago do Chile: CEPAL/ILPES, 1998. (Serie Investigación, Documento 18/98, LC/IP/G.120).

HIDS Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável. Documento eletrônico. Disponível em <<http://www.hids.unicamp.br/as-diferentes-perspectivas-da-sustentabilidade/>> Acesso em 27 nov. 2021.

KRAMA, Márcia Regina. **Análise dos indicadores de desenvolvimento sustentável no Brasil, usando a ferramenta painel de sustentabilidade**. Curitiba, 2008. 185 p. Tese de mestrado em Engenharia de Produção – Pontifca Universidade Católica do Paraná.

KRONEMBERGER, D. M. P. **A Viabilidade do Desenvolvimento Sustentável na Escala Local: o caso da Bacia do Jurumirim (Angra dos Reis, RJ)**. 274 f. 2003. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal Fluminense, Niterói: 2003.

KUZNETS, Simon. Economic Growth and Income Inequality. *American Economic Review*, v.45, p.1-28. 1995.

LINS, M. P. E. ; MEZA, L. A. Análise Envoltória de Dados e Perspectivas de Integração no ambiente de Apoio à Decisão. Rio de Janeiro: COPPE / UFRJ, 2000.

LODHIA, Sumit; MARTIN, Nigel. Corporate Sustainability Indicators: an Australian Mining Case Study. **ELSEVIER**, V.84, 1 December 2014, Pages 107-115

LOGÍSTICA Reversa. Documento eletrônico. Disponível em <<https://logisticareversa.org/triple-bottom-line-ou-tripe-da-sustentabilidade/>>. Acesso em 27 nov. 2021.

LUCENA, A. D.; CAVALCANTE, J. N.; CÂNDIDO, G. A. Sustentabilidade do município de João Pessoa: uma aplicação do barômetro da sustentabilidade. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v.7, n.1, p. 19-49, jan./abr. 2011.

Macedo, M. A. S. (2009). Análise do nível de sustentabilidade: um estudo apoiado em Análise Envoltória de Dados (DEA). In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA

PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 12, 2009, São Paulo. Anais do XII SIMPOI. São Paulo: FGV/EAESP.

MACEDO, Marcelo Alvaro da Silva; FERREIRA, Antonio Francisco Ritter; CÍPOLA, Fabricio Carvalho. Análise do nível de sustentabilidade das unidades federativas do Brasil e de suas capitais: Um estudo sob as perspectivas econômicas, social e ambiental. **Gestão social e ambiental**, São Paulo, v. 5, n. 3, p. 73-89, set./dez. 2011.

MARIANO, E.B.; ALMEIDA M.R. ; REBELATTO D.A.N. Princípios Básicos para uma proposta de ensino sobre análise por envoltória de dados. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ensino em Engenharia (COBENGE), Passo Fundo. Anais, 2006.

MARIANO, E.B. **Sistematização e comparação de Técnicas, Modelos e Perspectivas não-paramétricas de análise de eficiência produtiva**. São Carlos, 2008. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MARTINS, H. et al. How urban structure can affect city sustainability from an air quality perspective. **ELSEVIER**, v.21, Issue 4, April 2006, Pages 461-467

MARZAL, K; ALMEIDA, J. Indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas: Estado da arte, limites e potencialidades de uma nova ferramenta para avaliar o desenvolvimento sustentável. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v.17, n.1, p.41-59, jan./abr. 2000.

MICHAEL, F. L., NOOR, Z. Z., & FIGUEROZAa, M. J. (2015). Review of Urban Sustainability Indicators Assessment: Case Study Between Asian Countries. **ELSEVIER**, V.44, October 2014, Pages 491-500

OLIBERAL.COM –Aqui é Jornalismo-. Documento eletrônico. Disponível em <<https://www.oliberal.com/para/norte-teve-maior-desigualdade-social-em-saude-durante-a-pandemia-aponta-pesquisa-1.560547>>. Acesso em 13 de Out 2022

PAWLOWSKI, A. Quantas dimensões tem o desenvolvimento sustentável? **Desenvolvimento Sustentável**, São Francisco, v.16, n. 2, p. 81-90, 2008.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. (2010). **Desenvolvimento Humano e IDH**. Disponível em:<<http://www.pnud.org.br/idh>>. Acesso em: Nov, 2021.

R. A. Castelão et al.: Análise envoltória de dados na ótica do desenvolvimento sustentável: Mato Grosso do Sul, Brasil (1991-2010). **Economía, Sociedad y Territorio**. Estado do México, vol. xxi, núm. 66, 2021, 539-568

ROLDÁN, A.B; VALDÉS, A.S. (2002). Proposal and application of a Sustainable Development Index. **Ecological Indicators**, v.2, p.251-256.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

SANTANA, Naja Brandão. **Crescimento econômico, desenvolvimento sustentável e inovação tecnológica: uma análise de eficiência por envoltória de dados para os países do BRICS**. São Carlos, 2012, p.216. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Economia, organizações e Gestão do conhecimento). Universidade de São Paulo.

SERRA Mauricio; MORAIS Gustavo Inácio. Tecnologia e sustentabilidade ambiental: desafios e possibilidades para os países periféricos. **Economia e Tecnologia**. Paraná, Ano 03, Vol. 09 –Abr./Jun. de 2007, p. 127-129.

SIENA, O. **Método para avaliar o progresso em direção ao desenvolvimento sustentável**. 2002. 234 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2002.

SILVA a, G. M. C. D., PÉRICO, A. E. (2022). Eficiência e sustentabilidade: uma análise econômica, social, ambiental e sustentável das usinas paulistas de cana de açúcar. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60(3), e238512.

SILVEIRA, Juliana Quintanilha et al. Identificação de Benchmarks e anti-Benchmarks para companhias aéreas usando modelos DEA e fronteira invertida. **Produção**, Niterói, v. 22, n. 4, p. 788-795 set./dez. 2012

SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ÂNGULO-MEZA, L.; GOMES, E. G.; BIONDI NETO, L. Curso de Análise Envoltória de Dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 37, 2005, Gramado. Anais do XXXVII SBPO. Gramado/RS: SOBRAPO, 2005. CD-ROM.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B. et al. DEA Advanced Models for Geometric Evaluation of used Lathes. *WSEAS Transactions on Systems*, v. 7, n. 5, p. 500-20, 2008b.

SOUZA, Maria Goretti Nunes. **Avaliação da eficiência energética usando Análise Envoltória de Dados: Aplicação aos países em desenvolvimento**. São Paulo, 2012. 178 p. Tese de Doutorado em Ciências – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

TORRESI, Susana I. Córdoba de et al. O que é sustentabilidade?. **Química Nova**. São Paulo, Vol. 33, No. 1, 5, 2010

TRISTÃO, R.L. **Inovação e Desenvolvimento Sustentável – Um Estudo de Eficiência para Países com Aplicação de Análise Envoltória de Dados**. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

UNITED NATIONS. (2007). **Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies**. Third edition. New York

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2002. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis: 2002.

VILELA, D.L. Utilização do método Análise Envoltório de Dados Para Avaliação do Desempenho Econômico de Cooperativas de Crédito. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2004.

VISCONTI, Gabriel; SANTOS, Morena Correa. Biblioteca Digital do BNDES: Região Centro-Oeste: desafios e perspectivas para o desenvolvimento sustentável. 2014.

SILVEIRA, J. Q. DA; ÂNGULO-MEZA, L.; MELLO, J. C. C.B.S. Identificação de benchmarks e anti-benchmarks para companhias aéreas usando modelos DEA e fronteira invertida. **Produção**, v.22, n.4, p. 788-795, dez. 2012.