

PRODUTIVIDADE VERDE: MÉTRICAS, MENSURAÇÃO E AVALIAÇÃO

NAYARA AIRES DOS SANTOS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG

LÚCIA SANTANA DE FREITAS

Introdução

Diferentes métricas e formas de avaliação/mensuração da produtividade verde podem ser encontradas na literatura, porém os modelos apresentam limitações para garantir a robustez nos resultados apresentados, principalmente porque, os setores organizacionais apresentam peculiaridades inerentes às suas operações e estas necessitam ser incorporadas aos diferentes modelos. Maciel e Freitas (2019) destacam que além do processo produtivo, inúmeras outras atividades podem causar impactos ambientais e geração de resíduos, reforçando assim a necessidade de mensurar a produtividade verde em organizações.

Problema de Pesquisa e Objetivo

O objetivo desta pesquisa consistiu em identificar as métricas, índices e métodos de avaliação da produtividade verde a partir da revisão integrativa da literatura no período entre 1990 e abril de 2023. A pergunta de pesquisa foi definida em Como a produtividade verde tem sido medida, avaliada e mensurada nos estudos científicos?

Fundamentação Teórica

Muitos modelos de mensuração da PV apresentam limitações para garantir a acurácia dos resultados apresentados, principalmente porque, os setores organizacionais apresentam peculiaridades inerentes à sua operação que necessitam ser incorporadas na aferição. Conforme destaca Fernandes (2016), apesar da ampla variedade de modelos de mensuração da produtividade convencional, tais modelos apresentam-se limitados, sendo necessário buscar novas formas de quantificar os aspectos econômicos e ambientais envolvidos no processo, como a produção dos subprodutos, poluição e resíduos a serem descartados.

Metodologia

A revisão integrativa consiste em identificar, analisar e sintetizar os resultados de estudos sobre um mesmo tema, através de seis etapas distintas: Identificação do tema e seleção da questão de pesquisa; Estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão; Identificação dos estudos pré-selecionados e selecionados; Categorização dos estudos selecionados; Análise e interpretação dos resultados e; Apresentação da revisão/síntese do conhecimento.

Análise dos Resultados

Os modelos de mensuração de produtividade verde, que surgem como variações e avanços dos modelos convencionais ainda se mantêm na perspectiva do matemático e estatístico, o que dificulta a incorporação de aspectos subjetivos vinculados aos impactos sociais e ambientais. Quanto ao local de aplicação há um equilíbrio entre espaços geográficos e Indústrias. A China predomina como campo de estudos da PV. Em relação às diferentes métricas e formas de avaliação/mensuração da produtividade há uma predominância do uso dos índices de produtividade de Malmquist e/ou de Luenberger e suas variações.

Conclusão

A literatura sobre mensuração de PV apresenta métricas puramente matemáticas, que não permitem considerar os aspectos subjetivos, especialmente a dimensão social. Muitas vezes, os impactos sociais negativos só são percebidos no tempo futuro, e não no momento da medição em si. Os impactos ambientais podem não ser contemplados em sua totalidade pelo fato de que, o desgaste dos recursos pode acontecer a longo prazo, com seu uso contínuo, bem como o fator tempo nesta análise poderá trazer uma visão distorcida a respeito dos resultados de produtividade verde.

Referências Bibliográficas

FERNANDES, L. J. M. Modelo de mensuração da produtividade verde: uma proposta para organizações da indústria de fabricação de calçados. 2016. 255f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/967> MACIEL, D. S. C., & FREITAS, L. S. Measuring Green Productivity: a proposal measure. *Gestão & Produção*, v. 26, n. 1, 2019.

Palavras Chave

Produtividade Verde, Métrica, Aspectos ambientais e sociais

PRODUTIVIDADE VERDE: MÉTRICAS, MENSURAÇÃO E AVALIAÇÃO

1 Introdução

Mensurar a produtividade é um dos aspectos essenciais para a competitividade e o crescimento sustentável de uma organização, pois permite a compreensão do desempenho operacional, e auxilia na tomada de decisão com a identificação das lacunas, desperdícios, ineficiências e oportunidades de melhoria no processo.

Para além do olhar para dentro da organização, a mensuração da produtividade deve ser utilizada para identificar o impacto causado pelo processo produtivo no ambiente e na sociedade. Porém, o modelo econômico atual, preza pela melhoria dos resultados econômicos/financeiros em detrimento dos demais aspectos da sustentabilidade. Hou, et al., (2021) afirmam que questionamentos sobre como definir de maneira abrangente e avaliar cientificamente a produtividade verde passou a ser um problema relevante que demanda atenção dos governos, sociedade e pesquisadores.

Durante a produção de bens e serviços, consome-se energia, água e outros recursos naturais, o que resulta em impactos ambientais significativos, como a emissão de gases de efeito estufa, a geração de resíduos e a poluição do ar, da água e do solo. Faz-se necessário, dessa forma, uma mudança de paradigma para que o aumento da produtividade seja feito de tal forma harmônica com o meio ambiente, gerando melhora na qualidade de vida e, conseqüentemente, gerando vantagem competitiva.

Na busca por modificar este cenário, a Produtividade Verde (PV) apresenta uma compreensão de que um ambiente saudável e uma economia robusta e competitiva são mutuamente dependentes e, por isso, busca atender às necessidades da sociedade por meio de práticas de fabricação e gerenciamento ambientalmente responsáveis, visando uma melhor qualidade de vida (APO, 2020). Assim, para que a PV seja mensurada de forma realista, as métricas precisam garantir o atendimento das três dimensões da sustentabilidade: dimensão econômica, dimensão ambiental e dimensão social (APO, 2006).

A PV tem o potencial de proporcionar uma série de benefícios sociais e econômicos abrangentes. Essa abordagem visa resolver problemas tanto na comunidade quanto nas empresas, contribuindo assim para o progresso geral. Ao adotar a PV, os proprietários e trabalhadores também podem desfrutar de melhorias nas condições de trabalho, resultando em satisfação econômica. Além disso, a PV busca melhorar a qualidade de vida das pessoas e criar condições propícias para ações rumo ao desenvolvimento sustentável. Ao garantir a sustentabilidade ecológica no processo produtivo, se esforça para conciliar o crescimento econômico com a preservação ambiental.

Diferentes métricas e formas de avaliação/mensuração da produtividade verde podem ser encontradas na literatura (Deng, et al., 2023; Guo & Yang, 2022; Liu, et al., 2021; Zhao, & Fang, 2020; Maciel & Freitas, 2019; Taher-Ghahremani, & Omidvar, 2018; Tão, 2017; Shen, et al., 2017; Fernandes, 2016; Li & Lin, 2016; Chen & Golley, 2014; Hur, 2004), porém os modelos apresentam limitações para garantir a robustez nos resultados apresentados, principalmente porque, os setores organizacionais apresentam peculiaridades inerentes as suas operações e estas necessitam ser incorporadas aos diferentes modelos.

Ao seguir os modelos convencionais de mensuração da produtividade, se preocupa em excesso com os aspectos econômicos, desconsiderando em grande parte a influência do social e ambiental. Além disso, segundo Hou, et al., (2021) ao construir indicadores de produtividade verde, os dados dos indicadores disponíveis para a avaliação podem conter ruídos, tornando assim, os resultados obtidos imprecisos ou incompletos.

Segundo Fernandes (2016), os modelos de avaliação da produtividade tradicional, baseados na relação entre inputs e outputs, não são adequados em certos casos, pois concentram-se principalmente em matérias-primas, capital, força de trabalho e energia,

deixando de fora aspectos como os danos ambientais e sociais causados aos ecossistemas e à sociedade como um todo.

Conforme destacado por Maciel & Freitas (2019) além do processo produtivo, inúmeras outras atividades podem causar impactos ambientais e geração de resíduos, reforçando assim a necessidade de mensurar a produtividade verde em organizações.

Hur et al, 2004 afirmam que, as pesquisas preocupam-se com o que medir e como medir, a fim de melhorar a produtividade verde e, pelo fato de a medição ser importante para a avaliação do desempenho da produtividade verde, é essencial que os indicadores incluam a produtividade e o desempenho ambiental de forma integrada.

Desse modo, o objetivo desta pesquisa consistiu em identificar as métricas, índices e métodos de avaliação da produtividade verde a partir da revisão integrativa da literatura no período entre 1990 e abril de 2023. A pergunta de pesquisa foi definida em Como a produtividade verde tem sido medida, avaliada e mensurada nos estudos científicos?

Ao identificar as métricas e analisar como estas são utilizadas, este estudo contribui para que pesquisas futuras possam escolher e aplicar as métricas de PV de forma aderente ao seu objetivo e local de aplicação, algo que foi identificado como lacuna até o presente momento.

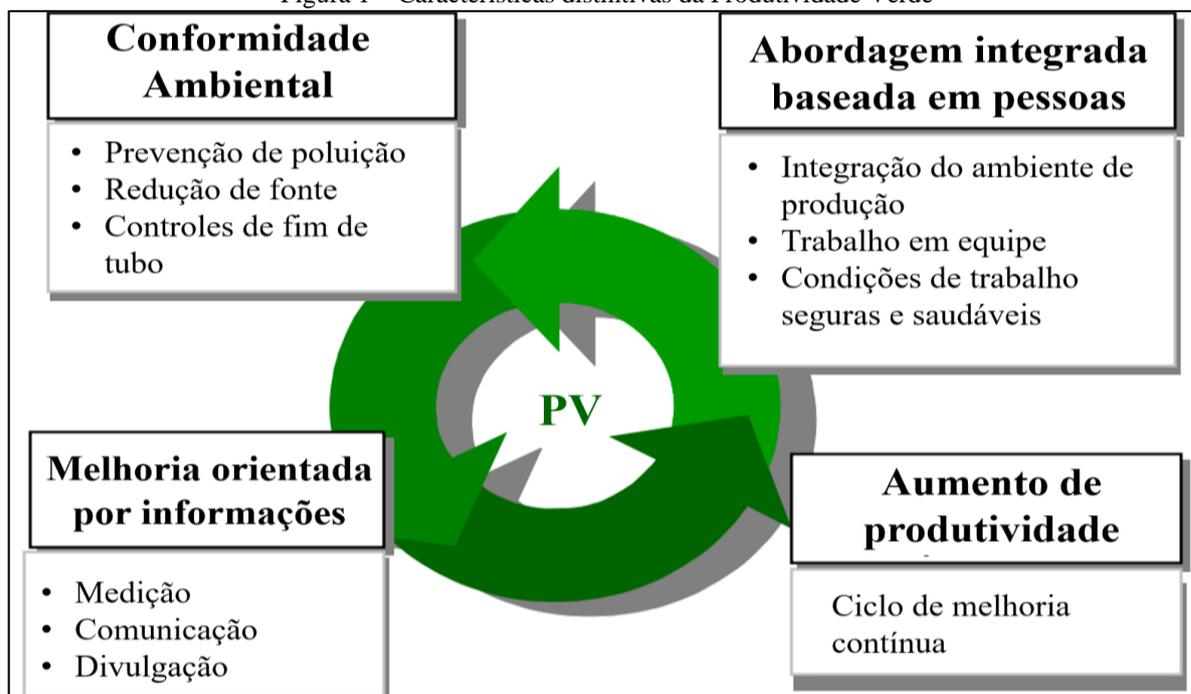
2 Fundamentação Teórica

O objetivo da Produtividade Verde (PV) é a melhoria socioeconômica da vida das pessoas e a proteção ambiental ao mesmo tempo. Desse modo, o uso mais eficiente de energia e recursos naturais, a eliminação gradual do uso de produtos químicos tóxicos, a redução de resíduos na fonte e os objetivos sociais devem ser incorporados ao processo (APO, 2020).

A PV aplica políticas, ferramentas, técnicas e tecnologias adequadas de produtividade e gestão ambiental, com o intuito de mitigar os impactos ambientais das atividades de uma organização ou de um sistema de produtos (Hur et al, 2004).

Entre os próprios diferenciais do conceito de PV apresentados pela Organização Asiática de Produtividade (APO), alguns pontos anteriormente não mencionados passam a ser considerados para a melhoria da produtividade, como é o caso da abordagem voltada para as pessoas e a mensuração como parte do processo de melhoria contínua (ver figura 1).

Figura 1 – Características distintivas da Produtividade Verde



Fonte: APO (2002).

De acordo com a APO (2002), para que o completo ciclo da PV, é preciso identificar quais os benefícios adquiridos com a sua utilização, sendo necessário determinar quais indicadores devem ser medidos e como fazê-lo. A melhoria contínua da produtividade depende de informações que orientem tais melhorias, da busca pela conformidade ambiental e de uma abordagem integrada baseada nas pessoas, que garanta o bem-estar daqueles que estão envolvidos na produção. O programa de PV necessita ser continuamente medido e avaliado através de indicadores de desempenho definidos visando garantir que a melhoria da produtividade e a proteção ambiental sejam alcançadas simultaneamente.

Considerando a existência de múltiplos níveis de aplicação da Produtividade Verde, como global, nacional, setorial e organizacional, faz-se necessário adotar uma abordagem sistemática na medição da Produtividade Verde em cada um desses níveis. Assim, os indicadores devem ser de aplicação geral, ao mesmo tempo em que precisam ser mensuráveis de forma acurada, para que sejam utilizados não apenas na avaliação do desempenho de uma empresa ou produto e na comparação entre eles, mas também no aprimoramento dos processos e produtos existentes, bem como no desenvolvimento de novos produtos. (Hur et al, 2004).

A análise da produtividade torna-se importante para a avaliação do uso dos recursos ambientais utilizados na produção, porém, conforme destaca Fernandes (2016), apesar da ampla variedade de modelos de mensuração da produtividade convencional, tais modelos apresentam-se limitados, sendo necessário buscar novas formas de quantificar os aspectos econômicos e ambientais envolvidos no processo, como a produção dos subprodutos, poluição e resíduos a serem descartados.

A escolha entre as diferentes medidas da produtividade dependerá do objetivo da medição ou ainda da disponibilidade dos dados, porém, independente da medida escolhida, realizar a mensuração da produtividade desempenha um papel crucial pois através dela é possível identificar falhas na produção e suas possíveis correções, possibilitando assim que sejam tomadas medidas mitigadoras. Porém, não basta concentrar-se exclusivamente na perspectiva da melhoria do processo produtivo, otimizando o uso de recursos e obtendo ganhos financeiros, se negligenciam os impactos ambientais gerados a partir de sua atividade produtiva (Maciel & Freitas, 2019).

Assim, muitos modelos apresentam limitações para garantir a acurácia dos resultados apresentados, principalmente porque, os setores organizacionais apresentam peculiaridades inerentes a sua operação e estas necessitam ser incorporadas na aferição da produtividade verde. Por isso, ao longo dos anos o conceito de produtividade evoluiu e se expande para atender as necessidades de todos os setores e a pressão da sociedade.

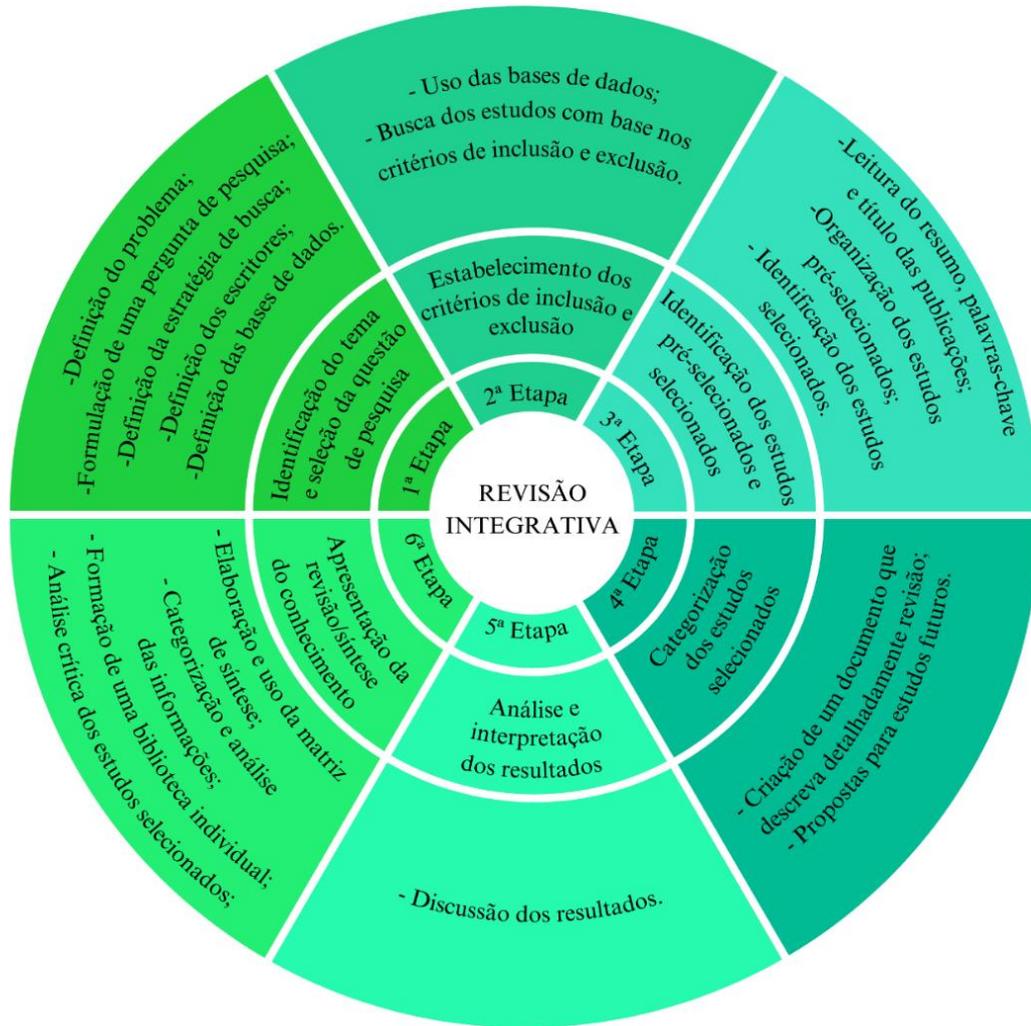
No entanto, observa-se que, apesar de ser um conceito fundamentalmente multidimensional que aborda questões como esgotamento de recursos naturais, poluição e destruição de ecossistemas, a mensuração ainda está defasada e por isso, existe a necessidade de uma abordagem quantitativa, qualitativa e sistemática que promova a proteção ambiental, detecção de problemas e identificação de estratégias de maior qualidade do que as atualmente utilizadas (FERNANDES, 2016).

Faz-se necessário adotar estratégias de gestão que contemplem nas métricas de produtividade o equilíbrio entre aspectos econômicos, sociais e ambientais, bem com algumas deficiências encontradas nas métricas propostas precisam ser superadas para o desenvolvimento de sistemas de indicadores de produtividade verde, ou outras formas de métricas, que sejam científicas, abrangentes e objetivas.

3 Metodologia

A revisão integrativa consiste em identificar, analisar e sintetizar os resultados de estudos sobre um mesmo tema, através de seis etapas distintas. Para a realização do estudo em questão, os passos foram seguidos da seguinte forma:

Figura 2 – Etapas da revisão integrativa



Fonte: Botelho; Cunha e Macedo, 2011.

1ª Etapa – Identificação do tema e seleção da questão de pesquisa: A pergunta de pesquisa foi definida em Como a produtividade verde tem sido medida, avaliada e mensurada nos estudos científicos? Desse modo, o objetivo deste estudo consistiu em levantar as diferentes métricas, formas de avaliação e mensuração da Produtividade Verde.

2ª Etapa – Estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão: Para a identificação dos artigos foram utilizados nove termos de buscas em inglês e com a utilização de aspas, sendo eles "green productivity" and "metric", "indicator", "measure", "index", "green productivity indicators", "model", "evaluation". Definiu-se a Scopus (Elsevier) e a Web of Science – WoS (Clarivate Analytics) como as bases de dados para a busca dos artigos considerando a janela de tempo de publicação entre 1990 até 24/04/2023 na Scopus e 29/04/2023 na WoS. Em seguida, iniciou-se o processo de refinamento nos critérios de busca, optando-se por publicações na modalidade artigo; publicados em Inglês, Português e Espanhol. Foram utilizados apenas artigos com estágio de publicação final, ou seja, artigos com acesso antecipados foram retirados no refinamento. Os critérios de refinamento nas bases estão detalhados na tabela 1.

Tabela 1 – Critérios de refinamento na base Scopus e WOS

Base	Consulta	Filtros	Artigos
Scopus	24/04/2023	<i>Article title, Abstract and keywords: "green productivity" and "metric" or "indicator" or "measure" or "index" or "green productivity indicators" or "model". Published from 1990 to 2023 (24/04/2023); Document type: Article; Language: English or Portuguese or Spanish; Publication stage: Final</i>	95
WOS	29/04/2023	Resultados da Coleção principal da Web of Science para: " green productivity " (Tópico) and " index " (Tópico). <i>Data de publicação: 01/01/1990 a 29/04/2023; Idiomas: English or Portuguese or Spanish;</i> <i>NOT Tipos de documento: Acesso antecipado.</i>	95
		Resultados da Coleção principal da Web of Science para: " Green Productivity " (Tópico) and " metric " (Tópico). <i>Data de publicação: 01/01/1990 a 29/04/2023; Idiomas: English or Portuguese or Spanish;</i> <i>NOT Tipos de documento: Acesso antecipado.</i>	0
		Resultados da Coleção principal da Web of Science para: " Green Productivity " (Tópico) and " Indicator " (Tópico). <i>Data de publicação: 01/01/1990 a 29/04/2023; Idiomas: English or Portuguese or Spanish;</i> <i>NOT Tipos de documento: Acesso antecipado.</i>	24
		Resultados da Coleção principal da Web of Science para: Resultados para " green productivity " (Tópico) AND " measure " (Tópico). <i>Data de publicação: 01/01/1990 a 29/04/2023; Idiomas: English or Portuguese or Spanish; NOT Tipos de documento: Acesso antecipado.</i>	55
		Resultados da Coleção principal da Web of Science para: " green productivity " (Tópico) and " model " (Tópico). <i>Data de publicação: 01/01/1990 a 29/04/202; Idiomas: English or Portuguese or Spanish; NOT Tipos de documento: Acesso antecipado.</i>	86
		Resultados da Coleção principal da Web of Science para: " green productivity " (Tópico) and " green productivity indicators " (Tópico). <i>Data de publicação: 01/01/1990 a 29/04/202; Idiomas: English or Portuguese or Spanish; NOT Tipos de documento: Acesso antecipado.</i>	2
		Resultados da Coleção principal da Web of Science para: " green productivity " (Tópico) and " evaluation " (Tópico). <i>Data de publicação: 01/01/1990 a 29/04/2023; Idiomas: English or Portuguese or Spanish;</i> <i>NOT Tipos de documento: Acesso antecipado.</i>	12
		Total	

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

3ª Etapa – Identificação dos estudos pré-selecionados e selecionados: A busca resultou em 368 artigos na consulta, resultando em 178 artigos após a exclusão dos artigos repetidos entre as bases e consultas. Para a identificação dos estudos pré-selecionados, foi realizada a leitura dos títulos, resumos, palavras-chave e resultados dos 178 artigos utilizando-se de dois critérios de seleção, sendo necessário atender pelo menos um dos critérios: (1) A mensuração e análise da Produtividade verde precisa ser foco do trabalho; (2) O objetivo do artigo esteja no desenvolvimento ou aplicação de métricas, modelos de avaliação e índices de produtividade verde. Após a realização das leituras, chegou-se ao quantitativo de 49 artigos selecionados e aderentes ao objetivo deste estudo.

4ª Etapa – Categorização dos estudos selecionados: A apresentação dos resultados obtidos com a revisão integrativa foi categorizada em dois subtópicos (1) quanto a métrica/modelo utilizado para a análise da Produtividade Verde e (2) quanto ao local de

aplicação/ tipos de organizações que foram usados para mensurar a PV. Conforme já explanado, a PV pode ser aplicada em nível global, nacional, setorial e organizacional e, por isso, é importante entender como esta aplicação está sendo realizada nos estudos científicos.

5ª Etapa – Análise e interpretação dos resultados e 6ª Etapa – Apresentação da revisão/síntese do conhecimento: Os resultados são apresentados e analisados na sessão seguinte em quatro tabelas com as informações de autor, ano de publicação, modelo/métrica utilizado no estudo e local de aplicação de acordo com as categorias que foram definidas na 4ª etapa. A síntese do conhecimento traz a reflexão acerca dos resultados alcançados com a pesquisa.

4 Análise e Discussão dos Resultados

Os resultados são apresentados a partir das categorias definidas na metodologia, como: **Modelo/métricas utilizados para mensurar da produtividade verde:** Índices de produtividade de Malmquist e/ou Luenberger; e Outros índices de mensuração da produtividade verde; **Local de aplicação:** indústrias; cidades; países; empresas e sem aplicação empírica. O detalhamento é apresentado nos subtópicos abaixo.

4.1 Modelo/métricas utilizados para mensurar da produtividade verde

4.1.1 Índices de produtividade de Malmquist e/ou Luenberger

Com a análise das diversas pesquisas que objetivam mensurar, analisar ou propor e aplicar métricas, modelos de avaliação e índices de produtividade verde é possível identificar que o índice de produtividade de Malmquist tem sido amplamente utilizado para medir o crescimento da produtividade.

O índice de produtividade de Malmquist foi introduzido por Sten Malmquist em 1953, é utilizado para avaliar a variação da produtividade ao longo do tempo. Esse índice utiliza funções de distância e é calculado como a média geométrica de índices de dois períodos consecutivos. No entanto, as medidas tradicionais de Malmquist não levam em consideração o impacto das emissões e poluentes na produtividade, o que limita sua capacidade de fornecer uma avaliação completa do crescimento da produtividade. Devido a tal limitação, diversos modelos integrados foram propostos, dentre esses modelos, destaca-se o índice de Malmquist-Luenberger, introduzido por Chung, Färe e Grosskopf em 1997. O índice de produtividade Malmquist-Luenberger é uma forma especial do índice de Malmquist que avalia a mudança na produtividade em um contexto específico de produção de resultados indesejáveis e o desempenho ambiental em relação a estes resultados indesejáveis (Du, et al, 2018).

Os artigos que formam a categoria são apresentados na tabela 2, com as informações de modelos/métricas, autores e anos de publicação, quantidade de artigos que utilizam tal modelo e os locais de aplicação informados nos documentos.

Tabela 2 – Categorização de artigos que utilizam índices de produtividade de Malmquist e/ou Luenberger

Modelo/Métrica	Quantidade de artigos	Autor/ Ano	Local de Aplicação
Índice de produtividade de Malmquist-Luenberger	14	<i>Chen, S.; Golley, J., (2014); Li, K.; Lin, B., (2015); Li, K.; Lin, B., (2016); Yang, J.L.; Xue, J.L., (2017); Lee, S.; Noh, D.-W.; Oh, D.-H., (2018); Wang, Y.; Sun, X.; Guo, X., (2019); Feng, Y. et al., (2021); Ai, H. et al., (2020); Li, P.; Ouyang, Y., (2020); Li, Y.; Li, S.Y., (2021); Lena, D.; Pasurka, C.A.; Cucculelli, M. (2022) ;Zhai X.-Q. et al., (2022); Debbarma, J. et al., (2022); Ouyang, X. et al., (2023).</i>	Setores industriais (China, Países da OCDE, Itália); Indústrias de alto carbono (Hebei, Mongólia Interior, Shaanxi, Shanxi e Ningxia); Indústrias manufatureiras (Coreia); Províncias e Cidades (China); Empresas exportadoras (Índia).

Índice de produtividade global de Malmquist-Luenberger	10	<i>Tao, F.; Zhang, HQ.; Xia, XH., (2016); Tao, F. et al., (2017); Li, D.; Wu, R., (2018); Zhang J. et al., (2020); Liu, H. et al.; (2021); Li, D., Zhao, Y.; (2021); Ben Lahouel, B. et al.; (2022); Xu, H. et al.; (2022); Guo, J.; Yang, HQ.,(2022); Shahid, R. et al., (2022).</i>	Aglomerações urbanas e Províncias (China); Indústrias de transporte rodoviário (China); Países MENA (Médio Oriente e Norte da África); Transporte rodoviário (China); Indústrias manufatureiras (China).
Indicador de produtividade de Luenberger	5	<i>Shen, Z.; Boussemart, J.-P.; Leleu, H., (2017); Xie, RH.; Yuan, YJ.; Huang, JJ., (2017); Deng, H., (2022); Shen, Z., (2022); Deng, H. et al., (2022).</i>	Países (OCDE, China, África); Províncias (China)
Índice de produtividade de Malmquist	2	<i>Yu-Ying Lin, E.; Chen, P.-Y.; Chen, C.-C., (2013); Yang, Z.; Fang, H., (2020).</i>	Países; Empresas imobiliárias.
Indicador Luenberger-Hicks-Moorsteen	2	<i>Deng, H. et al., (2022); Chen, X. et al., (2022)</i>	Indústria manufatureira (China); Setor pecuário (China).
Índice de metafronteira de Malmquist-Luenberger	1	<i>Yu, J.L.; Lee, H.S.; Kim, J.D., (2020)</i>	Indústrias emissoras GHG (energia, siderurgia, petroquímica, papel, cimento e eletrônica – Coreia)
Índice bienal de Malmquist-Luenberger	1	<i>Wang K.-L. et al., (2023)</i>	Cidades (China)

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Da lista de artigos selecionados, 35 documentos integram a categoria que utiliza os índices de produtividade de Malmquist e/ou de Luenberger, o que representa 70% da base total de artigos levantados no estudo. Dentre os índices, seis deles fazem parte da categoria, sendo: (1) Índice de produtividade de Malmquist-Luenberger utilizado em 14 estudos; (2) Índice de produtividade global de Malmquist-Luenberger utilizado em 10 estudos; (3) Indicador de produtividade de Luenberger utilizado em cinco estudos; (4) Índice de produtividade de Malmquist utilizado em dois estudos; (5) Indicador Luenberger-Hicks-Moorsteen utilizado em dois estudos; (6) Índice de metafronteira de Malmquist-Luenberger utilizado em um estudo; e, por fim (7) Índice bienal de Malmquist-Luenberger em um estudo.

Um ponto que dificulta a análise dos modelos apresentados é a falta de justificativa em relação ao porquê da escolha do modelo e o que o difere em relação ao modelo tradicional de Malmquist e/ou Luenberger. Cada variação do modelo busca trazer uma adaptação ou acréscimo de indicadores, mas os estudos não detalham quais são as variações e o porquê da escolha de uso, estando focados prioritariamente na apresentação dos valores dos cálculos.

Além disso, possuem métricas puramente matemáticas, que deixam de fora aspectos sociais e ambientais importantes para o cumprimento do objetivo da PV. Dessa forma, a principal limitação das métricas apresentadas se dá por não considerar, ou considerar apenas de forma superficial os indicadores ambientais e sociais em seus cálculos. Por se tratar de mensuração de Produtividade verde, a falta de inclusão de tais indicadores faz com que a métrica falhe com o objetivo da PV que é equilibrar a competitividade econômica e um ambiente saudável que garanta qualidade de vida para a sociedade.

4.1.2 Outras formas de mensuração da produtividade verde

Apesar da grande utilização do índice de produtividade de Malmquist e/ou Luenberger, alguns estudiosos utilizam-se de outros modelos existentes ou ainda, objetivam em seus estudos, através de limitações encontradas nos demais modelos, a construção/proposição de modelos/indicadores para a análise da Produtividade Verde.

Conforme destaca Fernandes (2016), a importância de desenvolver modelos de gestão que abordem a interdependência das dimensões sociais, ambientais e econômicas da sustentabilidade tem sido defendida tanto por pesquisadores individualmente como em nível institucional. A caracterização dos artigos com índices diversos e proposição de modelos de mensuração da PV é apresentada na tabela 3.

Ao todo, 15 documentos apresentam-se com este objetivo, o que representa 30% da base total. Desse modo, a proposição de novos modelos e a aplicação deles nas organizações auxilia na construção e no avanço do conhecimento sobre a temática, ao apresentar formas de preencher as lacunas anteriormente definidas nos modelos já existentes.

Tabela 3 – Categorização de artigos com índices diversos e proposição de modelos de mensuração da PV

Modelo/Métrica	Quantidade de artigos	Autor/Ano	Local de Aplicação
<i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	1	Marimin. <i>et al.</i> , (2014)	Cadeia produtiva de borracha natural (Indonésia)
Abordagem SBM-DDF estendida	1	Wang, Y.; Sun, X.; Guo, X., (2019)	Setores industriais dos países da OCDE
GP Index (GPI) + <i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	1	Purba, F.; Suparno, O.; Suryani, A., (2020)	Indústria de curtimento de couro (Indonésia)
Método aproximado de correlação fuzzy	1	Hou C. <i>et al.</i> , (2021)	China
<i>Data Envelopment Analysis</i> e modelo <i>Bootstrap Auto-regressive Distributed Lagged (BARDL)</i>	1	Wang, X. <i>et al.</i> , (2023)	China
indicadores GP	1	Hur, T.; Kim, I.; Yamamoto, R., (2004)	Empresa petroquímica (Coreia)
Avaliação do ciclo de vida (LCA) e análise de decisão multicritério do processo de hierarquia analítica (AHP).	1	Pineda-Henson, R; Culaba, AB., (2004)	Sem aplicação empírica.
Constrói indicadores combinando a função de distância direcional não radial e produtividade de Malmquist meta-fronteira.	1	Li, J.; Lin, B., (2016)	China
Modelo de avaliação da baseado no modelo de Craig-Harris.	1	Taher-Ghahremani, F.; Omidvari, M., (2018)	Indústria de fabricação de papel
Função de distância de entrada de metafronteira (MIDF).	1	Zhang, N.; Jiang, X.-F., (2019)	Usinas de energia movidas a carvão (China)
Índice de PV com base no índice de produtividade Global Malmquist-Luenberger.	1	Pan W. <i>et al.</i> , (2019)	China
Modelo para mensuração do nível de PV Organizacional.	1	Maciel, D. S. C.; Freitas, L. S., (2019)	Sem aplicação empírica.
Indicador de produtividade de Luenberger.	1	Liu, G. <i>et al.</i> , (2020)	China
indicador de produtividade de meta-fronteira Malmquist Luenberger.	1	Yang, M. <i>et al.</i> , (2021)	China
Modelo econométrico.	1	Liu, Y. <i>et al.</i> , (2023)	149 Países

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Marimim (2014) utiliza o modelo *Analytic Hierarchy Process (AHP)*. De acordo com o próprio autor, o modelo AHP é utilizado para calcular o peso dos critérios quantitativos e

qualitativos em uma pesquisa e sua resolução é feita usando hierarquia, para que assim, o processo complexo de decisão possa ser dividido em decisões menores e sejam tratadas com mais facilidade.

Wang, Y et al, (2019) faz uso da Abordagem SBM-DDF estendida. E considera que o uso da abordagem “representa a contração máxima da entrada e a expansão da saída na direção definida pelo vetor, que mantém a combinação de entrada e saída dentro (no limite das) possibilidades de produção definidas”. É importante destacar que o estudo em questão também faz uso do Índice de Malmquist-Luenberger em seu estudo e, por isso, o mesmo aparece na lista em ambas formas de medição.

Purba, F et al, (2020) utiliza o GP Index (GPI). GPI é a proporção de benefícios econômicos para impactos ambientais e é representado dividindo o indicador econômico (preço de venda dividido pelo custo de produção), dividido pelo impacto ambiental. Além do cálculo GPI, os autores utilizam o modelo *Analytic Hierarchy Process* (AHP) na pesquisa.

Hou C. et al, (2021) emprega o método aproximado de correlação fuzzy. Os próprios autores definem que “é uma ferramenta eficaz para lidar com informações incompletas, como imprecisão, inconsistência e incompletude, e foi usado para medir e avaliar de forma científica, sistemática e abrangente a produtividade verde e reconstruir o sistema de índice de avaliação de PV”.

Wang, X. et al, (2023) utiliza a abordagem BARDL, que segundo os autores “é uma adição ao teste ARDL simples que envolve um novo teste de correlação” entre variáveis.

O estudo realizado por Hur, T. et al, (2004) desenvolve em sua pesquisa dois tipos de indicadores Produtividade Verde e objetiva entender o conceito prático e as abordagens através do uso de ferramentas de gestão ambiental, como avaliação do ciclo de vida (LCA) e avaliação de custo total (TCA).

Pineda-Henson & Culaba (2004) propõem em seu estudo propõe uma metodologia para avaliação da PV integrando a avaliação do ciclo de vida (LCA) e o processo de hierarquia analítica (AHP).

Li, J & Lin, B. (2016) constroem indicadores para avaliar o desempenho da economia verde da China e o crescimento da produtividade verde, nos quais a expansão econômica, incorporando a conservação de recursos e a proteção ambiental.

O objetivo do estudo de Taher-Ghahremani & Omidvari (2018) é fornecer um modelo para avaliar a Produtividade Verde na indústria de fabricação de papel, a partir do modelo de Craig-Harris.

No estudo realizado por Zhang & Jiang (2019) é proposta a função de distância de entrada de metafronteira (MIDF) para construir um novo índice de produtividade verde e o preço-sombra para usinas de energia movidas a carvão chinesas.

Pan W. et al., (2019) constroem um índice de produtividade verde baseado no índice de produtividade Global Malmquist-Luenberger para avaliar o desenvolvimento da economia de baixo carbono na China.

Maciel & Freitas (2019) propõem um modelo para mensuração do nível de Produtividade Verde Organizacional.

Liu, G. et al., (2020) investigam as tendências da produtividade total dos fatores verdes (TFP) da China e propõem um indicador de produtividade de Luenberger.

Yang, M. et al., (2021) propõem um indicador de produtividade de meta-fronteira Malmquist Luenberger para investigar a evolução da produtividade verde da China e seus determinantes no nível da cidade durante o período de 2003-2016.

O estudo de Liu, Y. et al., (2023) constrói um modelo econométrico para entender o impacto da abundância de recursos naturais na produtividade total do fator verde.

Os pesquisadores na proposição/aplicação de seus respectivos modelos, trazem reflexões e análises sobre os cenários estudados, propondo ajustamentos e melhorias

justificáveis e que representem ganhos para o entendimento de como a PV pode ser medida.

Neste sentido, Hou et al. (2021) chama atenção para o uso de uma forma de interpretação fragmentada, concentrando-se apenas em indicadores de proteção ambiental e negligenciando os aspectos de saúde das empresas, além de basear-se principalmente em abordagens de entrada-saída, como a função de distância de direção, o processo de hierarquia analítica, o ciclo de vida LCA e o índice de produtividade global de Malmquist-Luenberger, entre outros métodos.

4.2 Local de aplicação/ Tipo de organização

É importante ressaltar os diferentes locais de aplicação e mensuração da PV pois é através das limitações encontradas para a adaptação dos modelos nos diversos cenários, seja ele indústrias ou empresas diversas, ou ainda entre países, que novos conhecimentos são gerados e, com isso, novos modelos e métricas são propostos.

Tabela 5 – Categorização de artigos por local de aplicação

Categoria	Quantidade de artigos	Local de Aplicação
Espaços geográficos	24	China; Países da OCDE (30 países: Canadá, Chile, México e Estados Unidos, Austrália, Israel, Japão, República da Coreia, Nova Zelândia, Áustria, Bélgica, Suíça, Alemanha, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Reino Unido, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Polónia, Portugal, Suécia e Turquia); Países da África (Argélia, Egito, Marrocos, Sudão e Tunísia, Angola, Benin, Botswana, Camarões, Congo, Costa Ivoire, RD do Congo, Guiné Equatorial, Etiópia, Gabão, Gana, Quênia, Ilhas Maurício, Moçambique, Namíbia, Níger, Nigéria, Senegal, África do Sul, Togo, UR da Tanzânia, Zâmbia e Zimbábue); Países MENA (Argélia, Bahrein, Egito, Irã, Iraque, Israel, Jordânia, Kuwait, Líbano, Marrocos, Omã, Catar, Arábia Saudita, Tunísia e Iêmen); Países (149 países em todo o mundo). Cidades, Províncias e Aglomerações urbanas (China);
Indústrias	22	Indústrias manufatureiras (China, Coreia, Itália, Países de OCDE); Indústrias de alto carbono (Hebei, Mongólia Interior, Shaanxi, Shanxi e Ningxia); Indústrias de transporte rodoviário (China); Indústria de curtimento de couro (Indonésia); Indústrias emissoras GHG (energia, siderurgia, petroquímica, papel, cimento e eletrônica – Coreia); Cadeia produtiva de borracha natural (Indonésia); Usinas de energia movidas a carvão (China); Empresas exportadoras (Índia); Empresas imobiliárias (China); Empresa petroquímica (Coreia); Pecuária (China)
Sem aplicação empírica	3	Não há aplicação empírica no estudo.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Existe um equilíbrio em relação ao número de publicações quanto ao local de aplicação no qual os modelos foram aplicados, ou seja, 24 artigos foram aplicados em Cidades e Países, resultando em 49% da produção total. Todos os artigos com aplicação de modelo de PV em cidades/províncias/aglomerações urbanas são estudos realizados na China.

A China é referência na produção científica da temática da PV e com o aumento das regulamentações ambientais do país, as diversas aplicações têm como objetivo o cumprimento

de acordos globais de sustentabilidade e esforços nacionais para o atingimento de metas propostas.

A categoria Indústrias é composta por 22 documentos, o que representa 45% do total de publicações. As indústrias da China apresentam-se como o maior campo de estudo. A mensuração da produtividade convencional já faz parte do modelo de gestão industrial, que busca maximização dos resultados obtidos dentro do processo produtivo e, deste modo, é justificável que a mensuração da produtividade verde também tenha a indústria como um campo de estudo importante.

Por fim, três artigos da lista não apresentam aplicação empírica, mas sim a proposição de modelos para que sejam aplicados em estudos futuros. Os estudos se utilizam de pesquisa bibliográfica e de campo para analisar e propor, mas sem realizar a aplicação empírica.

5 Considerações Finais

O conceito de produtividade verde difere do conceito comum de produtividade à medida em que considera como variáveis os aspectos ambientais e sociais. Assim, não basta produzir e garantir o melhor retorno econômico se, durante o processo produtivo, gere-se uma degradação ambiental irreversível. Além disso, a abordagem atenta para a integração da saúde e bem-estar das pessoas envolvidas no processo.

O meio ambiente e o desenvolvimento econômico não são desafios independentes, mas sim intrinsecamente interligados e, para que uma economia prospere de forma sustentada, não se pode levar seus recursos naturais ao estágio de deterioração, sendo essencial considerar os custos da destruição ambiental resultantes do processo produtivo. Para proteger o meio ambiente, é necessária uma mudança estrutural de longo prazo na atividade econômica, utilizando os recursos de forma mais responsável e eficiente.

Os modelos convencionais de mensuração da produtividade, puramente matemáticos e estatísticos, não conseguem mensurar na totalidade a realidade do processo produtivo, já que desconsideram aspectos importantes como o custo da degradação ambiental. Seguindo na mesma linha, os modelos de mensuração de produtividade verde, que surgem como variações e avanços dos modelos convencionais ainda se mantem na perspectiva do matemático e estatístico, o que dificulta a incorporação de aspectos subjetivos vinculados aos impactos sociais e ambientais.

Quanto ao local de aplicação há um equilíbrio entre espaços geográficos e Indústrias. A China predomina como campo de estudos da PV, seja como País, ou em suas áreas urbanas, cidades e províncias, como também em suas indústrias.

Em relação às diferentes métricas e formas de avaliação/mensuração da produtividade há uma predominância do uso dos índices de produtividade de Malmquist e/ou de Luenberger e suas variações, porém já se percebe outras possibilidades de uso de outros modelos, como *Analytic Hierarchy Process* (AHP), Abordagem SBM-DDF estendida, Modelo espacial dinâmico de Durbin, Método aproximado de correlação fuzzy, *Data Envelopment Analysis* e modelo *Bootstrap Auto-regressive Distributed Lagged* (BARDL). Ainda em relação às métricas, identifica-se a proposição de novos modelos. Tais estudos são relevantes no avanço do conhecimento sobre a temática, ao apresentar formas de preencher as lacunas identificados nos modelos já existentes.

É possível concluir ainda que, a literatura sobre mensuração de PV apresenta métricas puramente matemáticas, que não permitem considerar os aspectos subjetivos da produtividade verde, especialmente da dimensão social. Muitas vezes, os impactos sociais negativos só serão percebidos no tempo futuro, e não no momento da medição em si. Outro fator a ser considerado é que, os impactos ambientais podem não ser contemplados em sua totalidade pelo fato de que, o desgaste dos recursos pode acontecer a longo prazo, com seu uso contínuo, assim, não incluir as subjetividades inerentes, bem como o fator tempo nesta análise poderá trazer uma visão

distorcida a respeito dos resultados de produtividade verde.

Também cabe destacar que a mensuração da PV e seus desdobramentos se dá em um contexto maior tanto em espaços geográficos quanto em indústrias, portanto faz-se necessário definir quais estratégias podem ser utilizadas para melhorar os índices/indicadores e, como os gestores, governantes e responsáveis podem utilizar esse conhecimento gerado para melhorar a produtividade verde, especialmente quanto ao uso dos recursos ambientais e a vida das pessoas.

Portanto, é preciso avançar na temática da produtividade verde, construir conhecimento científico que contribua com a melhoria contínua da produtividade verde, propondo novos modelos de mensuração e avaliação, e adaptando os existentes de forma que as lacunas apontadas possam ser preenchidas.

Referências

APO (Asian Productivity Organization). **Green productivity: an approach to sustainable development**. Tokyo: APO, 2002.

APO (Asian Productivity Organization). **Handbook on green productivity**. Canada: APO, 2006.

APO (Asian Productivity Organization). **Green productivity for the sdgs: Review of emerging and priority needs**. Tokyo: APO, 2020.

CHUNG, Y.H.; FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach. **Journal of Environmental Management**, v. 51, n. 3, p. 229-240, nov. 1997.

DU, Juan *et al.* A Modified Malmquist-Luenberger Productivity Index: Assessing Environmental Productivity Performance in China. **European Journal of Operational Research**, v. 269, n. 1, p. 171-187, 16 ago. 2018.

FERNANDES, L. J. M. **Modelo de mensuração da produtividade verde: uma proposta para organizações da indústria de fabricação de calçados**. 2016. 255f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/967>

HOU, C., CHEN, H., LONG, R., ZHANG, L., YANG, M., & WANG, Y. Construction and empirical research on evaluation system of green productivity indicators: Analysis based on the correlation-fuzzy rough set method. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, 123638, 2021.

HUR, T.; KIM, I.; YAMAMOTO, R. Measurement of green productivity and its improvement. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 7, p. 673-683, 2004.

KERSTENS, K.; SHEN, Z. VAN DE WOESTYNE, I. Comparing Luenberger and Luenberger-Hicks-Moorsteen productivity indicators: How well is total factor productivity approximated? **International Journal of Production Economics**, v. 195, p. 311-318, 2018.

LI, Deshan; WU, Rongwei. A dynamic analysis of green productivity growth for cities in Xinjiang. **Sustainability**, v. 10, n. 2, p. 515, 2018.

MACIEL, D. S. C., & FREITAS, L. S. Measuring Green Productivity: a proposal measure. **Gestão & Produção**, v. 26, n. 1, 2019.