

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

SUSTENTABILIDADE E SEU IMPACTO NA PERFORMANCE DE EMPRESAS:  
INSIGHTS E IMPLICAÇÕES PARA A ENGENHARIA  
por

Márcia Possa Forcelini

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, fevereiro de 2024

## CIP - Catalogação na Publicação

Possa Forcelini, Márcia  
SUSTENTABILIDADE E SEU IMPACTO NA PERFORMANCE DE  
EMPRESAS: INSIGHTS E IMPLICAÇÕES PARA A ENGENHARIA /  
Márcia Possa Forcelini. -- 2024.  
23 f.  
Orientadora: Leticia Jenisch Rodrigues.

Coorientador: Alejandro Gérman Frank.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de  
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto  
Alegre, BR-RS, 2024.

1. ESG (Governança Ambiental, Social e  
Corporativa). 2. Performance. 3. Engenharia. 4.  
Práticas Sustentáveis. 5. Score de Propensão (PSM). I.  
Jenisch Rodrigues, Leticia, orient. II. Gérman Frank,  
Alejandro, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Márcia Possa Forcelini

SUSTENTABILIDADE E SEU IMPACTO NA PERFORMANCE DE EMPRESAS:  
INSIGHTS E IMPLICAÇÕES PARA A ENGENHARIA

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Ignacio Iturrioz

Coordenador(a) do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Energia e Fenômenos de Transporte

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Letícia Jenisch Rodrigues

Coorientador: Prof. Dr. Alejandro German Frank

Comissão de Avaliação:

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Letícia Jenisch Rodrigues (Presidente)

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Simone Ramires (DEMEC-UFRGS)

Prof. Dr. Herbert M. Gomes (DEMEC-UFRGS)

MSc. Eng: Laura V. Lerman

Porto Alegre, fevereiro de 2024

## AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente a meus avós pela sabedoria e amor, e à minha mãe pelo incentivo contente. Aos meus professores e orientadores, minha gratidão pelo e todo conhecimento que proporcionaram durante o curso. Agradeço também a Deus pelas bênçãos e orientação.

## EPÍGRAFE

*O cerne da ilusão é que acreditamos compreender o passado, o que implica que o futuro também deve ser conhecível, mas na verdade compreendemos o passado menos do que acreditamos compreender.*

*Daniel Kahneman*

Forcelini, Márcia. **SUSTENTABILIDADE E SEU IMPACTO NA PERFORMANCE DE EMPRESAS: INSIGHTS E IMPLICAÇÕES PARA A ENGENHARIA**. 2024. 15. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

## RESUMO

Este estudo apresenta uma análise da relação entre práticas sustentáveis e desempenho financeiro no campo da Engenharia Mecânica, enfatizando o impacto das práticas de Governança Ambiental, Social e Corporativa (ESG). A pesquisa emprega o método *Propensity Score Matching* (PSM) e Regressão Linear para avaliar o desempenho de empresas listadas no *The Sustainability Yearbook - 2023* em comparação com as não listadas. Os resultados do estudo revelam uma correlação positiva entre práticas sustentáveis e performance, no indicador de lucro bruto. Empresas listadas no ranking demonstraram um desempenho superior, com um valor de desempenho médio 18,45% mais alto. Essa correlação é particularmente significativa na Engenharia Mecânica, um campo que influencia diretamente a industrialização e a inovação tecnológica, agora enfrentando o desafio de integrar a sustentabilidade em seus processos e produtos. As limitações do estudo e a complexidade dos fatores que afetam o desempenho corporativo são reconhecidas, destacando a necessidade de estudos longitudinais adicionais e métodos estatísticos mais sofisticados para uma compreensão mais profunda da interação dinâmica entre sustentabilidade e desempenho financeiro. Esta pesquisa contribui para a compreensão mais ampla de como a sustentabilidade pode influenciar o sucesso corporativo e oferece insights para decisões estratégicas de negócios e inovações tecnológicas em Engenharia Mecânica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Práticas Sustentáveis, Performance, ESG (Governança Ambiental, Social e Corporativa), Score de Propensão (PSM).

Forcelini, Márcia. **SUSTENTABILIDADE E SEU IMPACTO NA PERFORMANCE DE EMPRESAS: INSIGHTS E IMPLICAÇÕES PARA A ENGENHARIA MECÂNICA.** 2024. 15. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

## ABSTRACT

This study presents an in-depth analysis of the relationship between sustainable practices and financial performance in the field of Mechanical Engineering, emphasizing the impact of Environmental, Social, and Corporate Governance (ESG) practices. The research employs a comprehensive approach, utilizing the Propensity Score Matching (PSM) method and Cross-Sectional Linear Regression to assess the performance of companies listed in The Sustainability Yearbook - 2023 Ranking against those not listed. The study's findings reveal a positive correlation between sustainable practices and financial performance, notably in the gross profit margin. Companies adhering to sustainable practices showcased superior performance compared to their non-listed counterparts, with an average performance value 18.45% higher. This correlation is particularly significant in Mechanical Engineering, a field directly influencing industrialization and technological innovation, now facing the challenge of integrating sustainability into its processes and products. The study's limitations and the complexity of factors affecting corporate performance are acknowledged, highlighting the need for further longitudinal studies and more sophisticated statistical methods for a deeper understanding of the dynamic interplay between sustainability and financial performance. This research contributes to the broader understanding of how sustainability can influence corporate success and offers insights for strategic business decisions and technological innovations in Mechanical Engineering.

**KEYWORDS:** Sustainable Practices, Performance, ESG (Environmental, Social, and Corporate Governance), Propensity Score Matching (PSM).

## NOMENCLATURA

### Símbolos

$\beta$	Coefficientes na regressão linear
$H_0$	Hipótese Nula
$p$	Número de preditores do modelo
$R^2$	Coefficiente de determinação (R-Quadrado)
$Sp$	Variância combinada
$X_n$	Variáveis Independentes

### Símbolos gregos

$\Phi$	Função de distribuição acumulada
--------	----------------------------------

### Abreviaturas e acrônimos

CSA	Avaliação de Sustentabilidade Corporativa
EBITDA	Lucros Antes de Juros, Impostos, Depreciação e Amortização
ESG	Governança Ambiental, Social e Corporativa
ETC	Comissão de Transições Energéticas
GICS	Padrão Global de Classificação da Indústria
SSE	Soma dos Quadrados do Erro
SSM	Soma dos Quadrados do Modelo
SST	Soma Total dos Quadrados
SSR	Soma dos Quadrados dos Resíduos
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
VIF	Fator de Inflação da Variância

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA .....	2
3. CASO DE ESTUDO .....	3
3.1    Análise do caso .....	3
3.2 <i>The Sustainability Yearbook</i> .....	4
3.3 <i>Propensity Score Matching (PSM)</i> .....	5
3.4 <i>Regressão Linear Cross-Sectional</i> .....	6
3.5    Medidas Estatísticas .....	7
3.5.1    T-test.....	7
3.5.2    P-Valor .....	7
3.5.3    VIF.....	8
3.5.4    R-Quadrado .....	8
3.5.4.1    R-Quadrado Ajustado .....	9
3.5.5 <i>F-Value</i> .....	9
4. RESULTADOS .....	10
5. CONCLUSÃO.....	11
REFERÊNCIAS .....	13

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente conscientização ambiental tem catalisado uma transformação significativa em diversos setores, estendendo-se de corporações a nações, esse tema se torna cada vez mais relevante no meio acadêmico e corporativo (Baratta et al. 2023). Neste contexto emergente, ganha destaque o conceito de *Environmental, Social and Corporate Governance* (ESG) introduzido em 2004 pela Organização das Nações Unidas (ONU), que enfatiza a importância de equilibrar considerações ambientais, sociais e de governança para fomentar um desenvolvimento equitativo e ambientalmente responsável (ONU, 2004).

De acordo com o *The Sustainability Yearbook - 2023 Rankings*, que avaliou 7,800 empresas (das avaliadas em 2022), 712 empresas foram selecionadas para integrar o ranking de 2023 (*S&P Global, 2023*). O *S&P Global ESG Score* é calculado com base no questionário de sustentabilidade corporativa (CSA), e para entrar no ranking, as companhias precisam ter uma pontuação equivalente à pontuação das 15% melhores de seus setores. Dentre as empresas selecionadas, 22 eram brasileiras mantendo o número de participação em relação ao ano anterior.

Muitos estudos demonstram a necessidade de analisar o impacto da transição para medidas renováveis como Wang et al., (2017) que avaliam a importância de cuidados ambientais, a fim de compreender as vantagens e oportunidades inerentes a essa mudança de paradigma. Isso envolve uma análise abrangente juntamente com a consideração de outros fatores que influenciam essa transição, como os desafios inerentes e a viabilidade prática. O investimento em práticas renováveis oferece às empresas a oportunidade de melhorar sua reputação, consolidar sua posição no mercado e atrair um novo grupo de investidores e consumidores altamente conscientes da sustentabilidade (Aldowaih et al., 2022). Paralelamente, os governos que promovem políticas favoráveis à adoção de energias renováveis podem estimular a inovação tecnológica, impulsionar a competitividade econômica e reduzir a dependência de combustíveis fósseis, diversos países, que se encontram em estágios iniciais de desenvolvimento financeiro e têm potencial para beneficiar-se significativamente da adoção de energia renovável, estão priorizando seu crescimento. A investigação do papel das fontes de energia renovável emerge como um meio crucial para que formuladores de políticas e administrações identifiquem oportunidades de implementar medidas efetivas visando o crescimento sustentável e a proteção ambiental (Peipei et al., 2023).

O estudo conduzido por Clark et al. (2014) aborda uma variedade de casos e artigos, revelando correlações notáveis entre sustentabilidade e performance financeira demonstrando resultados onde 90% dos estudos relativos ao custo de capital demonstraram que padrões robustos de ESG contribuem para a redução do custo de capital de uma empresa; 88% dos estudos de desempenho operacional indicaram que práticas sólidas de ESG levam a um melhor desempenho operacional; e 80% das pesquisas apontaram que o preço das ações é positivamente influenciado por práticas sustentáveis de alta qualidade. Somado a isso, Eccles, et al., (2013) demonstraram em seu estudo que ações de empresas sustentáveis tendem a apresentar um desempenho superior em relação às suas concorrentes menos sustentáveis, com um ganho médio de 4,8% ao ano.

A motivação para esse estudo se deu pelas suas implicações significativas na Engenharia Mecânica que frequentemente não são amplamente exploradas. Uma vez que, o engenheiro mecânico atua em diversos setores, ultrapassando barreiras limitadas entre indústrias (Okokpujie et al., 2019). Uma carreira associada diretamente com a industrialização, inovação e desenvolvimento de máquinas e dispositivos, que cada vez mais terão o desafio de se reinventar sob a ótica do desenvolvimento sustentável. Inovações sustentáveis na Engenharia Mecânica estão relacionada a adequação de tecnologias mais eficientes e ambientalmente

responsáveis. A transição para práticas mais sustentáveis implica em direcionar indústrias e negócios para atividades ambientalmente responsáveis, minimizando sua emissão de carbono e incorporando fontes de energia renováveis (Zhao e Rasoulinezhad., 2023) e (Li et al., 2023). Isso inclui a criação de máquinas que consomem menos energia, melhoria de processos para reduzir emissões de gases de efeito estufa, e o desenvolvimento de novos materiais com menor impacto ambiental.

Além do aspecto ambiental, a implementação de práticas de ESG na engenharia também engloba a responsabilidade social e uma governança corporativa sólida. Isso se traduz na garantia de ambientes de trabalho seguros e éticos, no desenvolvimento de produtos seguros e benéficos para a sociedade, e na promoção de transparência e responsabilidade nas práticas empresariais. Um pilar importante na Engenharia Mecânica é a eficiência energética, tanto em termos de produção quanto de utilização de máquinas e equipamentos.

Ademais a Agenda 2030 das Nações Unidas, por meio de seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelece diretrizes fundamentais para promover um futuro mais sustentável e resiliente. Nesse contexto, esse trabalho também aborda um tema relacionado a ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) que desempenha um papel crucial ao incentivar práticas de consumo e produção responsáveis. Este objetivo apela às empresas, para adotarem estratégias sustentáveis e incorporarem informações de sustentabilidade em seus ciclos de relatórios. Paralelamente, o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) coloca ênfase na necessidade de ação contra a mudança climática. Reconhecendo que as alterações climáticas representam um desafio global sem precedentes, este objetivo convoca esforços coletivos para fortalecer a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos climáticos e desastres naturais, e o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) complementa esses esforços ao destacar a necessidade de desenvolver infraestruturas de qualidade, confiáveis, sustentáveis e resilientes. Este objetivo não se limita apenas à construção física, mas também abrange a melhora das capacidades tecnológicas e de pesquisa científica, especialmente nos países em desenvolvimento. A intenção é garantir que o progresso industrial e a inovação caminhem de mãos dadas com a sustentabilidade, apoiando o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano de maneira equilibrada.

Dada a importância crescente da sustentabilidade nas práticas corporativas, este trabalho se propõe a analisar a performance de empresas de diferentes setores, com foco no industrial, qual os profissionais de engenharia desempenham um papel fundamental no desenvolvimento de tecnologias e processos sustentáveis, podendo ser um fator determinante no sucesso das empresas e no seu impacto socioambiental, propondo uma exploração dos aspectos econômicos e de sustentabilidade de uma amostra de empresas listadas em diferentes bolsas mundiais, como a B3, Nyse, Nasdaq, Euronext e LSE. Este trabalho visa compreender a realidade das empresas globais neste cenário, focando em suas práticas de sustentabilidade e a relação com sua performance.

## **2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA**

A crescente preocupação com as mudanças climáticas e ambientais tem impulsionado transformações significativas nos cenários sociais, políticos e econômicos globais. Estas transformações exercem um impacto direto sobre a vida das pessoas e impõem a necessidade de adaptação por parte dos profissionais e empresas. Neste contexto de crescente conscientização ambiental, torna-se vital para as organizações incorporarem práticas sustentáveis em suas operações.

No Brasil, observa-se uma transição regulatória relevante em relação à sustentabilidade corporativa. A partir de 2024, o reporte de informações sustentáveis por empresas brasileiras

será opcional, evoluindo para uma obrigatoriedade em 2026. Esta mudança, conforme descrito por Laidlaw (2023), é resultado da adoção das Normas de Divulgação de Sustentabilidade da *International Sustainability Standards Board* (ISSB) pelo Ministério da Fazenda e pela Comissão de Valores Mobiliários (CVM) (IFRS, 2023). Este movimento representa um passo significativo na integração de práticas de sustentabilidade no quadro regulatório do país.

Além disso, o Acordo de Paris, estabelecido em 2015 sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), estabelece metas ambiciosas para limitar o aquecimento global a menos de 2°C, preferencialmente a 1,5°C (UNFCCC, 2015). Isso implica na necessidade de reduzir as emissões globais de CO<sub>2</sub> e outros gases para quase zero até a metade deste século, com uma meta intermediária de redução de 40% até 2030. A Comissão de Transição de Energia (ETC), em seu relatório de 2023 (IRP, 2023), reforça essa meta, defendendo que os países desenvolvidos alcancem a neutralidade de carbono até 2050, enquanto os países em desenvolvimento devem atingir este objetivo até 2060.

A transição das empresas para operações mais sustentáveis não apenas é uma resposta a esses regulamentos e acordos globais, mas também se revela uma estratégia de negócio vantajosa. Conforme Ethan e Said (2023) apontam, análises de custo-efetividade e avaliações tecno-econômicas demonstram uma redução significativa nos custos das tecnologias renováveis, tornando-as progressivamente mais competitivas em comparação às fontes de energia tradicionais. Esta tendência não apenas alinha as empresas com as metas globais de sustentabilidade, mas também oferece oportunidades para melhorar a eficiência operacional e abrir novos mercados.

### 3. CASO DE ESTUDO

O estudo em questão visa analisar dois grupos de empresas, as empresas listadas no *The Sustainability Yearbook - 2023 Ranking* (conforme detalhado na Seção 3.1) como grupo de tratamento e empresas fora desse ranking, grupo de controle, determinadas pelo modelo PSM discutido posteriormente. As empresas do grupo de tratamento representam diversos setores de atuação como indústria, saúde e financeiro, assim como diversos países como Brasil, Estados Unidos e Reino Unido.

Nesta análise foram discutidas duas hipóteses para validação. Hipótese H1 indica que as empresas no grupo de tratamento têm uma performance melhor que as empresas no grupo de controle, e a hipótese H2 incita que o grau de investimento em inovação atrelado as empresas no grupo de tratamento beneficiam juntas a performance das empresas. Essas são as principais hipóteses respondidas neste trabalho. A performance analisada neste caso é a financeira focando nas margens de lucro das empresas. É crucial enfatizar, como discutido na Seção introdutória, que a não inclusão de uma empresa neste ranking não implica necessariamente a ausência de iniciativas de sustentabilidade por parte dela.

Esta questão investigativa não apenas explora o impacto das iniciativas de sustentabilidade no desempenho corporativo, mas também busca contribuir para um entendimento mais aprofundado sobre a intersecção entre sustentabilidade e rentabilidade no contexto empresarial atual.

É imprescindível que engenheiros em todos os setores estejam conscientes e engajados com as práticas de sustentabilidade, considerando seu impacto abrangente não só no meio ambiente, mas também na sustentabilidade econômica e na inovação tecnológica. Esta abordagem integrada é essencial para atender às demandas contemporâneas de mercado e para posicionar as empresas na vanguarda do progresso tecnológico e sustentável.

#### 3.1 Análise do caso

O projeto tem o objetivo de avaliar as empresas presentes no ranking explicado na Seção 3.2 e entender sua performance em relação a empresas não listadas, para isso, utiliza-se o *Propensity Score Matching* (PSM), esta técnica estatística avançada compara empresas listadas e não listadas no relatório, criando pares de empresas "gêmeas" com base em critérios como setor, tamanho, dívida e capitalização de mercado.

A Figura 1 do estudo ilustra o diagrama base, mostrando a relação entre as empresas presentes no relatório e como elas se comparam com empresas não listadas. Utilizando o PSM, foi possível criar um emparelhamento eficaz entre o grupo de tratamento (empresas no ranking) e o grupo de controle (empresas fora do ranking).

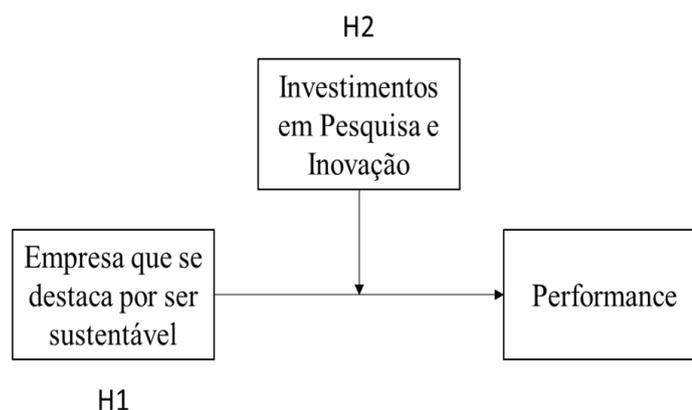


Figura 1 – Diagrama representativo do *case* em estudo

Além disso, a análise incorporou a regressão linear *Cross-Sectional* para examinar a performance das empresas considerando a relação entre a Taxa de Lucro Bruto e variáveis independentes como despesas com inovação e setor empresarial. Este modelo foi crucial para entender a influência de diferentes fatores na performance financeira das empresas.

Para validar os resultados, foram aplicadas medidas estatísticas como o *t-test*, p-valor, Fator de Inflação de Variância (VIF) e R-Quadrado, que ajudaram a determinar a significância, multicolinearidade e o ajuste do modelo aos dados. Na validação estatística a hipótese H0 considera que as variáveis independentes não têm influência relevante na variável dependente, e a hipótese alternativa H1 considera que as variáveis possuem um peso relevante na variação da variável dependente. O estudo enfatizou a robustez das técnicas estatísticas empregadas na avaliação da sustentabilidade e desempenho financeiro das empresas.

### 3.2 *The Sustainability Yearbook*

O ranking *The Sustainability Yearbook 2023*, elaborado pela S&P Global, visa avaliar o desempenho em sustentabilidade das empresas em todo o mundo. O ranking baseou-se principalmente no *Corporate Sustainability Assessment* (CSA), que consiste em uma análise abrangente de mais de 10.000 empresas globalmente, focando em critérios de sustentabilidade específicos de cada indústria e que são materialmente relevantes. Para a edição de 2023, uma seleção significativa de mais de 7.800 empresas, previamente avaliadas no CSA de 2022, foi considerada no relatório.

As empresas têm a flexibilidade de escolher um período de avaliação de dois meses que melhor se adequa ao seu ciclo de relatórios e planejamento. A avaliação também impõe critérios de exclusão rigorosos, descartando empresas com atividades específicas, como produção de tabaco ou armas. Em 2023, o questionário passou por mudanças significativas para simplificar

sua estrutura, incluindo a eliminação e redistribuição de perguntas, além da introdução de novos critérios como Transparência & Relatórios e Materialidade. Estas mudanças foram implementadas com o objetivo de promover a transparência e reduzir o ônus dos relatórios para as empresas participantes.

A abordagem foi centrada em um sistema de pontuação detalhado, baseado na materialidade dos critérios de sustentabilidade específicos para cada setor. A análise utilizou a Classificação da Indústria Global (GICS) para garantir uma avaliação apropriada e relevante para cada indústria. A metodologia enfatizou a dupla materialidade, avaliando o impacto financeiro, social e ambiental dos fatores de sustentabilidade. Cada resposta do questionário foi cuidadosamente pontuada, com pesos atribuídos a cada tópico de sustentabilidade sendo revisados anualmente.

A avaliação abrangeu diversos aspectos de sustentabilidade em âmbitos sociais e de governança, como discriminação e assédio, anti-competitividade, liberdade de associação e negociação coletiva, anticorrupção, eficiência de recursos, prevenção de poluição e gestão de resíduos, emissões de gases de efeito estufa e consumo de energia, e biodiversidade, foram avaliados. A biodiversidade recebeu atenção especial, considerando sua importância na manutenção dos ecossistemas. A metodologia também avaliou sistemas de gestão ambiental, bem-estar e segurança dos funcionários, gestão da inovação, cibersegurança, gestão de resíduos, uso e ocupação da terra, eficiência de recursos e circularidade, gestão da água, direitos humanos, governança corporativa, proteção da privacidade, gestão de riscos e crises, desenvolvimento humano e de talentos, influência política, práticas de emprego, e marketing e rotulagem responsáveis.

### 3.3 Propensity Score Matching (PSM)

A análise fundamental desse trabalho foi feita com a utilização da metodologia PSM, metodologia introduzida em 1983 por Paul Rosenbaum e Donald Rubin (Rosenbaum e Rubin, 1983). Essa técnica estatística avançada se diferencia das demais metodologias por ser baseada em dados objetivos e levar em consideração os fatores em comum que suportam o problema (Zhang et al, 2021), e é ideal para comparar métricas em grupos diferentes e separados em grupo de tratamento, nesse caso as empresas que constam no The Sustainability Yearbook – 2023, e o grupo de controle, empresas não listadas no ranking. O parâmetro estatístico consiste em encontrar uma empresa no grupo de controle mais parecida possível com cada empresa no grupo de tratamento, para isso é definido o *propensity score*, tal métrica engloba indicadores pré-selecionados em um único número que é comparado entre os grupos e possibilitando o *matching* das empresas (Austin, 2011).

O *propensity score* foi gerado por meio de uma regressão Probit modelo comumente utilizado para avaliar indicadores de performance e saúde financeira (Bishai, 1996), que ajuda a estimar as relações que podem influenciar nos resultados. A regressão Probit utiliza a função de distribuição acumulada da distribuição normal padrão para modelar a relação entre as variáveis. A equação do modelo está descrita abaixo

$$\Phi_{(p)}^{-1} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (1)$$

na qual  $\Phi^{-1}$  é a função de distribuição acumulada inversa da distribuição normal padrão,  $p$  é a probabilidade do evento de interesse,  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$  são os coeficientes a serem estimados, e  $X_1, X_2, \dots, X_n$  são as variáveis independentes.

Os indicadores selecionados neste trabalho para calcular o índice descrito precisam mostrar empresas de magnitude, segmento e visibilidade diante o mercado similares. Para isso

foram escolhidos os seguintes indicadores: setor de atuação, demonstra o segmento ao qual a empresa está inserida, número de funcionários, propicia visão do tamanho escalar, *debt-to-equity* e *market capitalization*, demonstra a visibilidade em relação ao mercado tanto em dívidas quanto em capitalização de terceiros.

O cálculo dos escores de propensão desempenhou um papel crítico ao identificar empresas 'gêmeas'. Buscaram-se empresas não listadas no ranking que exibissem scores compatíveis com as listadas, assegurando, assim, a similaridade entre os grupos comparados em características relevantes. Após a formação dos pares, a verificação do equilíbrio entre os grupos emergiu como um aspecto central, vital para a garantia de comparabilidade nas variáveis observadas.

Para assegurar a precisão do emparelhamento, conduziram-se testes específicos. Notavelmente, em determinadas análises, realizou-se a inclusão aleatória de empresas listadas no ranking em ambos os grupos, controle e tratamento, a fim de validar a adequação do processo de *'matching'*. Esta estratégia revelou uma consistência notável: empresas que figuravam em ambos os grupos eram invariavelmente pareadas com si mesmas, o que evidencia a eficácia do código utilizado e a acurácia dos scores de propensão, de acordo com os parâmetros previamente estabelecidos.

### **3.4 Regressão Linear Cross-Sectional**

No contexto de análise estatística, diversos modelos de regressão linear são utilizados para explorar e quantificar as relações entre variáveis. Um desses modelos, a regressão linear *Cross-Sectional*, destaca-se por sua eficácia em examinar a dependência de uma variável dependente em função de múltiplas variáveis independentes. Este modelo ajusta-se através dos coeficientes beta, que quantificam o impacto de cada variável independente sobre a dependente. Segundo Greene (2000), este método é particularmente útil em estudos econômicos e sociais onde dados de diferentes indivíduos ou entidades são analisados em um único ponto no tempo. Neste estudo, a Taxa de Lucro Bruto foi selecionada como a variável dependente para avaliar a performance das empresas no PSM, conforme detalhado na Seção 2.3. Esta métrica foi escolhida por refletir eficientemente a capacidade operacional e a habilidade de geração de lucro das empresas antes de deduções como impostos e despesas operacionais. Conforme destacado por Brigham e Houston (2019), a Taxa de Lucro Bruto é um indicador crucial da eficiência operacional, permitindo uma comparação mais homogênea entre empresas de diferentes setores. As variáveis independentes foram selecionadas com base em sua influência potencial na Taxa de Lucro Bruto. Sete parâmetros foram escolhidos:

**Despesas com Inovação:** Estes gastos, que incluem investimentos em modernização, são cruciais para a melhoria da margem de lucro bruto;

**Setor das Empresas:** A inclusão deste parâmetro permite a análise das diferenças estruturais entre setores, que impactam diretamente nas margens de custo e estruturas de mercado;

**Dívida sobre Patrimônio:** Esta variável é essencial, dadas as implicações que os juros sobre a dívida podem ter nas margens de lucro das empresas;

**Custos Operacionais e EBITDA:** Estes indicadores oferecem insights sobre a eficiência operacional e financeira das empresas, possuindo uma correlação potencial com a margem de lucro.

Outras variáveis independentes consideradas foram se a empresa está no ranking citado na Seção 3.1 ou não e os gastos das empresas sustentáveis em inovações, tais parâmetros visam verificar se essas empresas do ranking obtêm influência maior que as demais na margem

de lucro bruto das empresas. Abaixo temos a relação para a distribuição das variáveis na metodologia da regressão *Cross-Sectional*

$$Performance_i = \beta_0 + \beta_1 DespesasInov_i + \beta_2 Setor_i + \beta_3 DebttoEquity_i + \beta_4 CustosOp_i + \beta_6 EBITDA_i + \beta_7 Sustentável_i + \beta_8 GastosInovSust_i \quad (2)$$

na qual, *Performance* é a variável dependente, margem de lucro bruto, e as restantes as variáveis independentes. Para avaliar a qualidade e robustez do modelo de regressão utilizado, várias técnicas de validação estatística foram empregadas, conforme será detalhado na próxima seção.

### 3.5 Medidas Estatísticas

Para validar a qualidade da regressão linear foram utilizadas quatro medidas estatísticas, o *t-test*, apresenta a diferença entre as métricas, o p-valor, determina a significância dos resultados obtidos, o fator de Inflação de Variância (VIF), que é utilizado para verificar a multicolinearidade do modelo de regressão e o R-Quadrado, serve para quantificar a proporção da variação na variável dependente explicada pelas variáveis independentes.

#### 3.5.1 T-test

O teste t, criado por William Sealy Gosset sob o pseudônimo "Student", é uma técnica estatística vital para determinar se há diferença significativa entre as médias de dois grupos. Existem três variantes principais do teste t, cada uma com suas equações e contextos específicos de aplicação.

No estudo em questão foi calculado o teste t de Amostras Independentes, empregado para comparar as médias de dois grupos distintos. A relação para o teste t para duas amostras independentes, assumindo variâncias iguais, é

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_p * \sqrt{\frac{2}{n}}} \quad (3)$$

na qual  $\bar{x}_1$  e  $\bar{x}_2$  são as médias das duas amostras,  $n$  é o tamanho de cada amostra (assumindo tamanhos iguais para simplificação), e  $S_p$  é a variância combinada, calculada como

$$S_p = \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{2}} \quad (4)$$

na qual  $S_1^2$  e  $S_2^2$  são as variâncias das duas amostras. Este teste é aplicado quando se quer comparar grupos sujeitos a diferentes condições.

#### 3.5.2 P-Valor

O valor-p, um conceito central em estatística, desempenha um papel crucial na interpretação de resultados de testes de hipóteses. Este valor representa a probabilidade de se obter um resultado tão extremo quanto o observado (ou mais extremo) em um estudo, assumindo que a hipótese nula seja verdadeira. A hipótese nula ( $H_0$ ) geralmente postula a ausência de efeito ou a não existência de diferença significativa entre grupos ou variáveis.

No início de um estudo estatístico, estabelece-se a hipótese nula ( $H_0$ ), que serve como uma linha de base para o teste. Ao realizar um teste estatístico, calcula-se o valor-p, que é expresso matematicamente como

$$P(T \geq t|H_0) \quad (5)$$

na qual,  $T$  representa a estatística do teste (como um valor  $t$  no teste  $t$  de Student), e  $t$  é o valor da estatística do teste calculado a partir dos dados do estudo.

Um valor-p baixo indica que os resultados observados são incomuns sob a suposição da hipótese nula. Tradicionalmente, um limiar de significância de 0,05 é utilizado; se o valor-p é inferior a 0,05, considera-se que há evidências estatisticamente significativas para rejeitar a hipótese nula. Isso sugere que o efeito observado ou a diferença entre grupos é estatisticamente significativa. Em contraste, um valor-p alto sugere que o resultado observado não é atípico sob a hipótese nula, indicando a falta de evidências suficientes para rejeitá-la.

### 3.5.3 VIF

O Fator de Inflação da Variância (VIF – *Variance Inflation Factor*) é uma métrica estatística crucial em modelos de regressão múltipla, empregada para identificar e quantificar a multicolinearidade entre as variáveis preditoras. A multicolinearidade, que ocorre quando há correlações altas entre as variáveis independentes em um modelo de regressão, pode distorcer e comprometer a precisão dos coeficientes estimados, afetando assim a confiabilidade e interpretação dos resultados do modelo.

Para calcular o VIF de uma variável preditora, realiza-se inicialmente uma regressão dessa variável contra todas as outras variáveis preditoras no modelo. O VIF é então calculado usando

$$VIF = \frac{1}{1 - R^2} \quad (6)$$

na qual,  $R^2$  é o coeficiente de determinação obtido na regressão da variável preditora contra as demais. O valor do VIF reflete o grau em que a variância de um coeficiente de regressão estimado é ampliada devido à presença de multicolinearidade. Valores altos de VIF indicam que a variável está fortemente correlacionada com outras variáveis no modelo, sugerindo uma multicolinearidade problemática.

Na prática, um VIF superior a 10 é geralmente visto como um indicador de forte multicolinearidade, sugerindo que a variável em questão pode estar contribuindo significativamente para a instabilidade do modelo de regressão. Diante de VIF elevados, estratégias como a remoção de variáveis, a combinação de variáveis altamente correlacionadas ou a aplicação de técnicas alternativas, como a regressão de componentes principais, podem ser consideradas para mitigar os efeitos da multicolinearidade e melhorar a robustez do modelo.

### 3.5.4 R-Quadrado

O R-Quadrado, também conhecido como coeficiente de determinação, é uma medida estatística fundamental na análise de regressão, pois indica a proporção da variação na variável dependente que pode ser explicada pelas variáveis independentes no modelo. Essencialmente, o R-Quadrado mede o grau de ajuste de um modelo de regressão aos dados observados.

Para ilustrar, considere um modelo de regressão que visa prever uma variável dependente, como vendas, usando variáveis independentes como orçamento de marketing e

número de vendedores. O R-Quadrado deste modelo reflete a extensão em que as variações nas vendas são atribuíveis às variações nessas variáveis independentes.

O R-Quadrado é calculado por meio de:

$$R^2 = 1 - \frac{\text{Soma do Quadrados dos Resíduos (SSR)}}{\text{Soma Total dos Quadrados (SST)}} \quad (7)$$

na qual, SSR (Soma dos Quadrados dos Resíduos) é a soma dos quadrados das diferenças entre os valores observados e os valores preditos pelo modelo e SST (Soma Total dos Quadrados) é a soma dos quadrados das diferenças entre os valores observados e a média dos valores observados.

Um R-Quadrado de 1 (ou 100%) indica que o modelo explica toda a variação na variável dependente, representando um ajuste perfeito. Inversamente, um R-Quadrado de 0 sugere que o modelo não explica nenhuma variação na variável dependente, significando um ajuste muito pobre. Embora um R-Quadrado mais alto geralmente indique um melhor ajuste do modelo, é crucial estar atento ao risco de sobreajuste, especialmente em modelos com muitas variáveis independentes.

#### 3.5.4.1 R-Quadrado Ajustado

O R-quadrado ajustado, também conhecido como coeficiente de determinação ajustado, é uma métrica estatística utilizada para avaliar a adequação de um modelo de regressão. Diferente do R-quadrado tradicional, que simplesmente mede a proporção da variância na variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes no modelo, essa metodologia leva em consideração o número de preditores no modelo e ajusta-se pela quantidade de graus de liberdade. Isso significa que, ao adicionar variáveis independentes ao modelo, o R-quadrado ajustado aumentará apenas se a nova variável realmente contribuir significativamente para a explicação da variável dependente.

Essa análise é útil em situações em que se tem múltiplas variáveis independentes e deseja-se avaliar a efetividade do modelo em explicar a variável dependente, sem ser penalizado pela inclusão de variáveis irrelevantes.

#### 3.5.5 F-Value

O *F-Value*, ou valor F, é uma medida estatística, utilizada em análises de variância (ANOVA) e testes de hipóteses em regressões lineares. Essencialmente usado para avaliar a significância de um modelo estatístico ou para comparar a adequação de diferentes modelos. O valor F é calculado a partir da razão entre a variância explicada pelo modelo (Soma dos Quadrados do Modelo - SSM) e a variância não explicada pelo modelo (Soma dos Quadrados do Erro - SSE), ajustadas pelo número de preditores no modelo e pelo número total de observações.

O valor F é determinado por

$$F = \frac{\left(\frac{SSM}{p}\right)}{(SSE/(n - p - 1))} \quad (8)$$

na qual, SSM é a soma dos quadrados do modelo, SSE é a soma dos quadrados do erro,  $p$  é o número de preditores no modelo, e  $n$  é o número total de observações. Este valor é utilizado para testar a hipótese nula de que todos os coeficientes de regressão são zero, o que significaria que o modelo não possui poder explicativo significativo.

Um valor  $F$  alto indica que pelo menos um dos preditores é significativamente relacionado à variável dependente, sugerindo que o modelo tem relevância estatística. A interpretação do valor  $F$  deve sempre ser acompanhada do respectivo  $p$ -valor: um  $p$ -valor baixo (geralmente menor que 0.05) implica que podemos rejeitar a hipótese nula, confirmando a significância do modelo.

#### 4. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados de cada fase da análise proposta e o resultado da comparação entre as empresas listadas no ranking e as não listadas. Com os grupos balanceados, a análise dos resultados torna-se mais confiável. Geralmente, isso envolve a comparação das médias de desempenho entre as empresas dos dois grupos. Contudo, é essencial lembrar que o PSM tem suas limitações. Ele controla apenas as variáveis observadas e não pode considerar fatores não observados que podem influenciar os resultados.

As empresas selecionadas pelo PSM descrito na Seção 3.3, foram calculadas no modelo de regressão linear *Cross-Sectional*, todas as análises de dados foram realizadas via o software *Visual Studio Code*, onde foi utilizada a linguagem de programação Python. A tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros estatísticos gerais do modelo para avaliar a qualidade da regressão.

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos gerais da regressão *Cross-Sectional*

<b>R-Quadrado</b>	<b>R-Quadrado Ajustado</b>	<b>F-value</b>
0,4771	0,4706	74,2621

O coeficiente R-Quadrado, que é de 47,7%, indica que aproximadamente metade da variação na variável dependente (margem de lucro bruto) pode ser explicado pelas variáveis independentes do modelo. Em contextos em que as métricas são mais subjetivas, como no caso deste estudo, um R-Quadrado entre 40% e 50% é considerado satisfatório. Na mesma linha, o R-Quadrado Ajustado demonstra que 0,4707 da variável dependente foi contabilizada pelo modelo, mostra-se um bom ajuste ao dados pela sua subjetividade.

O *F-Value* é altamente atrelado às hipóteses de para determinar se o modelo tem ou não valor significativo, neste caso o valor de 74,26 indica que a variação explicada pelo modelo é significativamente maior do que a parte não explicada, atestando que o modelo como um todo é significativo.

Com a validação do modelo como um todo é possível validar as variáveis independentes utilizadas na regressão linear e sua relação com a variável dependente. Na Tabela 2 são apresentados os valores estatísticos (Coeficientes, t-valor, p-valor e VIF) para cada parâmetro individual utilizado no modelo.

Tabela 2 – Resultados estatísticos da regressão linear aplicada

<b>Parâmetros</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>t-values</b>	<b>p-values</b>	<b>VIF</b>
<b>Despesas_Inov</b>	-0,10424	-1,86463	0,06250	1,0799
<b>debttoequity</b>	0,00002	1,26129	0,20748	1,0059
<b>ebitda</b>	0,09950	15,32297	0,00000	1,1658
<b>operating Expenses</b>	-0,00691	-1,43055	0,15285	1,0363
<b>Sustentável</b>	0,22466	8,70705	0,00000	inf
<b>sust_inov</b>	0,20557	0,75468	0,45060	1,2133

Na Tabela 2, observa-se que os parâmetros “debttoequity”, “sust\_inov” e “operatingExpenses” não exercem influência significativa na margem de lucro bruto. Esta conclusão é baseada nos p-valores elevados desses parâmetros, sugerindo que suas associações com a margem de lucro bruto não são estatisticamente significativas.

Nota-se o Fator de Inflação da Variância (VIF) para o parâmetro “Sustentável” apresentou um valor infinito, refletindo sua natureza binária, o que geralmente não é estatisticamente significativo. Nas demais variáveis, os valores baixos de VIF indicam a ausência de multicolinearidade significativa, sugerindo que as variáveis independentes não estão excessivamente correlacionadas entre si.

O teste-t fornece *insights* adicionais, especialmente para os parâmetros “Sustentável” e “Ebitda”, que mostraram valores t positivos e relativamente altos. Este resultado implica que, em média, as empresas presentes no *ranking* de sustentabilidade tendem a ter uma margem de lucro bruto maior em comparação com aquelas que não estão no ranking e a alta correlação entre o Ebitda e o Lucro Bruto das empresas.

A análise de regressão conduziu a valores ajustados que refletem a performance das empresas. Estes valores foram consolidados em um índice de performance derivado da regressão *cross-sectional* e das variáveis mencionadas. Este índice de performance foi empregado para comparar o desempenho das empresas. De acordo com os resultados, as empresas listadas no ranking de sustentabilidade apresentaram uma média de performance de aproximadamente 0.507, enquanto as empresas não listadas no ranking tiveram uma média de performance em torno de 0.428, evidenciando uma distinção entre os dois grupos. Este resultado valida a Hipótese 1 formada neste trabalho onde a sustentabilidade ajuda diretamente na performance.

Porém a falta de significância dos testes estatísticos no parâmetro “sust\_inov”, indica que a combinação dos parâmetros de despesas em inovação e presença no ranking *The Sustainability Yearbook*, não contribuem para a performance da empresa. Isso demonstra que a sustentabilidade ajuda a melhorar a performance individualmente, mas atrelá-la a gastos em inovação dentro da empresa nesse estudo não implicou em uma melhora significativamente maior que só o posicionamento no ranking de sustentabilidade.

## 5. CONCLUSÃO

Este estudo evidenciou uma correlação positiva entre práticas sustentáveis e a performance financeira das empresas, com uma análise específica enfocando a margem de lucro bruto. Empresas listadas no *The Sustainability Yearbook - 2023 Ranking*, que adotam práticas sustentáveis, demonstraram um desempenho superior às suas contrapartes não listadas

apresentando o valor médio de performance 18,45% maior em relação as empresas fora do ranking. Este resultado é particularmente relevante para a Engenharia Mecânica, um campo que influencia diretamente a industrialização e a inovação tecnológica, e que agora enfrenta o desafio de integrar a sustentabilidade em seus processos e produtos.

A análise empregou uma regressão linear *Cross-Sectional* e o método *Propensity Score Matching* (PSM), resultando em um índice de performance que favorece empresas sustentáveis. Contudo, é importante reconhecer as limitações do estudo. O coeficiente R-Quadrado de 47,7% indica que outras variáveis não consideradas podem estar influenciando a margem de lucro bruto. Além disso, a complexidade e multidimensionalidade dos fatores que afetam a performance corporativa são sublinhadas pelos valores elevados de p-valores para certos parâmetros.

No contexto da Engenharia Mecânica, a transição para práticas mais sustentáveis abre caminhos para inovação e desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e com menor impacto ambiental. Este alinhamento entre inovação tecnológica e responsabilidade ambiental é crucial para o futuro da indústria e do desenvolvimento sustentável.

Para aprofundar a compreensão dessa relação complexa entre sustentabilidade e performance financeira, recomenda-se a realização de estudos longitudinais e a aplicação de métodos estatísticos mais sofisticados, como modelos de efeitos mistos ou análises de séries temporais. Estes métodos podem oferecer uma visão mais detalhada e dinâmica, permitindo entender melhor como as práticas sustentáveis influenciam o desempenho corporativo ao longo do tempo e contribuir para estratégias empresariais e inovações tecnológicas mais eficazes e responsáveis.

## REFERÊNCIAS

- Aldowaish, A., Kokuryo, J., Almazyad, O., & Goi, H. C. (2022). Environmental, Social, and Governance Integration into the Business Model: Literature Review and Research Agenda. **Sustainability**, 14. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:247285974>
- Austin, P. C. (2011). An Introduction to Propensity Score Methods for Reducing the Effects of Confounding in Observational Studies. **Multivariate Behavioral Research**, 46(3), 399-424. <https://doi.org/10.1080/00273171.2011.568786>
- Austin, P. C., Yu, A. Y. X., Vyas, M. V., & Kapral, M. K. (2021). Applying Propensity Score Methods in Clinical Research in Neurology. **Neurology**, 97(18). <https://www.neurology.org/doi/10.1212/WNL.00000000000012777>
- Baratta, A., Cimino, A., Longo, F., Solina, V., & Verteramo, S. (2023). The Impact of ESG Practices in Industry with a Focus on Carbon Emissions: Insights and Future Perspectives. **Sustainability**, 15, 6685. <https://doi.org/10.3390/su15086685>.
- Bishai, D. M. (1996). Quality time: how parents' schooling affects child health through its interaction with childcare time in Bangladesh. **Health Economics**, 5. DOI: [10.1002/\(SICI\)1099-1050\(199609\)5:5<383::AID-HEC225>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1050(199609)5:5<383::AID-HEC225>3.0.CO;2-W)
- Brigham, E. F., & Houston, J. F. (2019). **Fundamentals of Financial Management**, 15th ed. [Publicado por: Cengage Learning].
- Clark, G. L., Feiner, A., & Viehs, M. (2014). From the stockholder to the stakeholder: how sustainability can drive financial outperformance. **SSRN Scholarly Paper** No. ID 2508281. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2508281>
- Eccles, R. G., et al. (2019). Investors, firms, and sustainability: A focus on long-term performance. **Journal of Applied Corporate Finance**. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.1984>
- Eccles, R. G., Ioannou, I., & Serafeim, G. (2013). The Impact of Corporate Sustainability on Organizational Processes and Performance. **Harvard Business School Working Paper Series**. <https://www.nber.org/papers/w17950>
- Ethan, A., & Said, A. (2023). Renewable Energy and Sustainable Engineering in Mechanical Systems. **ResearchGate**. <https://www.researchgate.net/publication/373197013>.
- Greene, W. H. (2000). **Econometric Analysis**, 4th ed. Prentice Hall.
- IFRS. (2023, Outubro). Brazil Adopts ISSB Global Baseline. <https://www.ifrs.org/news-and-events/news/2023/10/brazil-adopts-issb-global-baseline/>.
- Laidlaw, J. (2023, Setembro). ESG Regulatory Tracker. **S&P Global**. <https://www.spglobal.com/esg/insights/esg-regulatory-tracker-september-2023>.
- Li, J., Lian, G., & Xu, A. (2023). How do ESG affect the spillover of green innovation among

peer firms? Mechanism discussion and performance study. **Journal of Business Research**. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113648>.

Okokpujie, I. P., Fayomi, O. S. I., & Oyedepo, S. O. (2019). The Role of Mechanical Engineers in Achieving Sustainable Development Goals. **Procedia Manufacturing**, 35, 782-788. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.023>.

Rosenbaum, P. R., & Rubin, D. B. (1983). The Central Role of the Propensity Score in Observational Studies for Causal Effects. **Biometrika**, 70(1), 41-55. <http://links.jstor.org/sici?sici=00063444%28198304%2970%3A1%3C41%3ATCROTP%3E2.0.CO%3B2-Q>.

S&P Global. (2023). **The Sustainability Yearbook 2023 Rankings**. <https://www.spglobal.com/esg/csa/yearbook/2023/ranking/>.

United Nations Global Compact. (2004). **Who Cares Wins: Connecting Financial Markets to a Changing World**. [https://www.unepfi.org/fileadmin/events/2004/stocks/who\\_cares\\_wins\\_global\\_compact\\_2004.pdf](https://www.unepfi.org/fileadmin/events/2004/stocks/who_cares_wins_global_compact_2004.pdf).

United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015). **Paris Agreement**. [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf).

Wang, Z., Wang, X., & Guo, D. (2017). Policy implications of the purchasing intentions towards energy-efficient appliances among China's urban residents: do subsidies work? **Energy Policy**, 102, 430-439. <https://ideas.repec.org/a/eee/enepol/v102y2017icp430-439.html>.

Zhao, L., & Rasoulinezhad, E. (2023a). Role of natural resources utilization efficiency in achieving green economic recovery: evidence from BRICS countries. **Resources Policy**. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103164>.

Zhang, Y., Li, J., & Tao, W. (2021). Does energy efficiency affect appliance prices? Empirical analysis of air conditioners in China based on propensity score matching. **Energy Economics**, 101, 105435. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988321003273>.