

ESG e risco sistemático no Brasil: evidências com *machine learning*

Resumo: A integração de fatores de sustentabilidade na avaliação corporativa desafia modelos tradicionais, especialmente em economias emergentes, onde seus efeitos financeiros ainda são inconclusivos. Este estudo analisa o impacto não linear das dimensões Ambiental, Social e de Governança no risco sistemático de empresas brasileiras de capital aberto. A pesquisa utiliza um painel desbalanceado de 99 companhias não financeiras entre 2014 e 2025, aplicando o algoritmo Extreme Gradient Boosting (XGBoost) combinado a técnicas de Inteligência Artificial Explicável (SHAP). Os resultados indicam que a governança é o principal fator de redução do risco de mercado, com retornos marginais decrescentes a partir de níveis intermediários, enquanto os pilares ambiental e social apresentam efeitos condicionais mais limitados. O estudo contribui ao evidenciar a assimetria na precificação de práticas sustentáveis, oferecendo subsídios para decisões de investimento e gestão voltadas à redução do risco de mercado.

Palavras-chave: Risco Sistemático, Governança Corporativa, ESG, Mercados Emergentes, Machine learning.

1. INTRODUÇÃO

A discussão acerca do papel corporativo nos crescentes desafios de ordem ambiental e social tem se intensificado nos últimos anos, se consolidando como um componente relevante da sustentabilidade empresarial (Mahanta *et al.*, 2024). Nesse contexto, as práticas ambientais, sociais e de governança corporativa (ESG, do inglês *Environmental, Social and Governance*) se destacam como um referencial chave para a promoção do desenvolvimento sustentável, alinhando-se à tendência global de desenvolvimento verde e de baixo carbono (Xu *et al.*, 2025).

Entretanto, é necessária a alocação de recursos para a execução dessas atividades. Para os gestores, a incorporação de considerações ESG transitou de uma tarefa secundária para uma necessidade estratégica, com potencial para impactar o desempenho financeiro e o acesso a capital (Sahu; Mahanta & Jena, 2026). A destinação de recursos para essa finalidade deve ser eficiente, de modo a preservar a riqueza dos acionistas (Friedman, 1970). Assim, na literatura financeira estudos têm investigado os impactos das práticas ESG sobre o desempenho financeiro, além de sua influência na obtenção e aplicação de capital.

Paralelamente, a compreensão do risco e de sua precificação constitui um dos pilares da teoria financeira. Markowitz (1952) demonstrou que a diversificação reduz o risco total dos investimentos, fundamento a partir do qual Sharpe (1964) desenvolveu o CAPM, que decompõe o risco em componentes diversificáveis e não diversificáveis, sendo o risco sistemático, mensurado pelo coeficiente beta, aquele remunerado pelo

mercado. Posteriormente, Ross (1976) ampliou essa abordagem, ao associar o risco sistemático à exposição a múltiplos fatores econômicos. A evolução desses modelos reforça a centralidade do risco sistemático na análise de ativos financeiros, sendo o coeficiente beta uma de suas principais medidas empíricas.

A relevância desse estudo é amplificada em economias em desenvolvimento. Sahu; Mahanta & Jena (2026) destacam que esses mercados são caracterizados por assimetria de informação, além de empresas com quadros institucionais mais fracos, onde fatores de governança, por exemplo, exercem uma influência mais direta e mensurável sobre o valor da empresa (Bani-Khaled; Azevedo; Oliveira, 2025).

Evidências sugerem que o impacto das práticas de sustentabilidade é mais profundo e opera de maneira diferente em mercados emergentes (Manrique; Martí-Ballester, 2017). Garzón-Jiménez e Zorio-Grima (2022) sugerem que a ligação entre o desempenho ESG e os resultados financeiros parece ser mais significativa em países com governança mais fraca, e os motivadores para a adoção de tais práticas estão mais ligados à eficiência de custos e à vantagem competitiva do que ao aumento do valor de mercado (Makkar *et al.*, 2025). Contudo, apesar da importância do tema, a maior parte da pesquisa se concentrou em economias desenvolvidas, deixando uma lacuna na literatura (Nguyen; Duong, 2025).

Nesse sentido, o estudo da relação entre as práticas ambientais, sociais e de governança e seu impacto no risco sistemático sobre as empresas se destaca com um papel estratégico. O risco sistemático refere-se ao risco relacionado ao mercado que não pode ser eliminado por meio da diversificação (Markowitz, 1952; Sharpe, 1964). Empresas com melhores estruturas de governança têm mais chances de implementar decisões estratégicas sólidas, manter a conformidade regulatória e reduzir a exposição a choques de mercado (Makkar *et al.*, 2025).

Entretanto, evidências empíricas divergentes apontam uma outra lacuna a ser preenchida. Alguns resultados sustentam a premissa teórica de que um desempenho superior em ESG está associado a uma redução no custo de financiamento, à medida que investidores e credores incorporam cada vez mais parâmetros não financeiros na avaliação do perfil de risco corporativo (Mahanta; Sahu; Behera, 2024).

A evidência empírica sobre a relação entre práticas ESG e o risco financeiro permanece inconclusiva, configurando uma lacuna na literatura. Parte das pesquisas indica que o investimento em sustentabilidade reduz o risco corporativo, proporcionando maior resiliência em períodos de instabilidade e superando abordagens de investimento

tradicionais em horizontes mais longos (Patanè *et al.*, 2024). Em contrapartida, outras investigações documentam uma associação positiva entre essas variáveis, sugerindo que as adequações operacionais para cumprimento de metas ESG podem gerar custos econômicos no curto prazo e elevar o risco percebido (Hsu *et al.*, 2023; Silva-Noreña *et al.*, 2024). Há também estudos que apontam para a neutralidade dos fatores ESG sobre os retornos de mercado e precificação de ativos em determinados recortes temporais (Silva-Noreña *et al.*, 2024).

A ausência de consenso na literatura pode derivar de escolhas estruturais na modelagem dos dados. Primeiramente, os impactos financeiros decorrentes da adoção de práticas ESG não se materializam de forma imediata na operação das empresas (Ahmed; Hamad; Qader, 2024). A avaliação rigorosa dessas métricas requer a incorporação de defasagens temporais na análise, garantindo que o risco atual seja examinado sob a influência de políticas sustentáveis consolidadas em períodos anteriores.

Adicionalmente, a utilização de pontuações ESG agregadas tende a generalizar e ocultar efeitos específicos de cada área. A análise individualizada dos pilares Ambiental, Social e de Governança permite capturar de maneira mais acurada as preferências de risco dos investidores, revelando como cada dimensão afeta o mercado de forma isolada (Wilberg *et al.*, 2025; Possebon *et al.*, 2024).

No entanto, a natureza multifacetada e complexa da relação entre as práticas ESG e o risco corporativo desafia os pressupostos de modelos econométricos tradicionais, que podem não capturar adequadamente as interações não lineares entre as variáveis (Bishop, 2016). Em cenários de alta variabilidade e incerteza, a demanda por métodos analíticos mais robustos se torna evidente (Goodell *et al.*, 2021).

Neste contexto, o avanço de tecnologias no campo da inteligência artificial oferece novas abordagens para a análise de grandes bases de dados, permitindo a identificação de padrões que não seriam aparentes em análises convencionais. O uso de algoritmos de *machine learning* (ML) em finanças, em particular, tem se expandido de forma expressiva nos últimos anos, como apontam recentes revisões de literatura (Liaras *et al.*, 2024).

Diante do exposto, este estudo tem como objetivo analisar o impacto não-linear das dimensões Ambiental, Social e de Governança (ESG) no Risco Sistemático (Beta) de empresas brasileiras de capital aberto. Para tanto, a pesquisa busca responder à seguinte questão: **de que forma as práticas específicas de ESG remodelam o perfil de risco sistemático corporativo e qual é o ponto ótimo de retorno marginal dessas iniciativas?**

O estudo contribui para a literatura ao explorar essas relações não lineares, utilizando técnicas de *Machine learning* como abordagem complementar para analisar a relevância de cada dimensão do ESG e como elas se relacionam com o risco sistemático.

A análise baseia-se em dados de empresas não financeiras listadas na B3 no período de 2014 a 2024. De forma a explorar relações com defasagem temporal, os escores ESG e variáveis de controle são utilizados para examinar o comportamento do risco sistemático no período subsequente.

A modelagem foi conduzida por meio do algoritmo Extreme Gradient Boosting (XGBoost) em conjunto com o método de Inteligência Artificial Explicável (SHAP), permitindo avaliar o papel individual de cada variável na explicação do risco. O estudo apresenta evidências empíricas, no contexto de mercados emergentes, de que a relação entre ESG e risco de mercado pode assumir características assimétricas e não lineares. Os resultados contribuem para a literatura de finanças sustentáveis ao indicar que a dimensão de Governança está associada a uma maior redução do risco, enquanto os pilares Ambiental e Social apresentam efeitos heterogêneos, sugerindo a necessidade de níveis elevados de desempenho para que seus potenciais benefícios sejam observados.

Esses achados oferecem implicações relevantes tanto para investidores, no aprimoramento da análise de risco e precificação de ativos, quanto para gestores, na alocação de recursos em iniciativas de sustentabilidade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO E HIPÓTESES

Os fatores ESG têm se consolidado como elementos centrais nas decisões empresariais e de investimento, sendo associados à resiliência e ao desempenho de longo prazo das organizações (Bani-Khaled; Azevedo; Oliveira, 2025). Nesse contexto, a crescente demanda por transparência por parte dos stakeholders tem impulsionado a incorporação dessas práticas, tornando-as relevantes para a avaliação das empresas e para a estabilidade financeira (Mahanta *et al.*, 2024; Roy; Rao; Zhu, 2022).

O risco ESG constitui uma dimensão relevante do risco corporativo e pode ser compreendido, em grande medida, à luz da assimetria de informação. No âmbito da Teoria da Agência (Jensen; Meckling, 1976), a assimetria informacional tende a elevar o retorno exigido pelos investidores (Easley; O'Hara, 2004). Nesse sentido, a divulgação de informações não financeiras, como aquelas relacionadas à sustentabilidade, atua como mecanismo de sinalização da qualidade da firma, contribuindo para a redução de

incertezas e fortalecimento da confiança dos stakeholders (Healy; Palepu, 2001; Wan Mohammed; Roseli, 2025).

Entre os pilares do ESG, a governança corporativa assume papel central nesse processo, ao englobar práticas relacionadas à transparência, responsabilidade e alinhamento de interesses entre gestores e acionistas (Zhang *et al.*, 2022). Estruturas de governança mais eficazes tendem a mitigar comportamentos oportunistas e a reduzir custos de agência, favorecendo a confiança dos investidores (Chen *et al.*, 2023). No entanto, a efetividade dessas práticas pode variar entre empresas e contextos institucionais, especialmente em economias emergentes (Chang; Lee, 2022).

Evidências empíricas indicam que, nesses contextos, o pilar da governança tende a exercer influência mais pronunciada sobre a percepção de risco por parte dos investidores (Nguyen; Duong, 2025). Estudos mostram que práticas de governança estão associadas à redução do risco financeiro, enquanto os fatores ambientais e sociais apresentam efeitos menos consistentes (Makkar *et al.*, 2025). De forma convergente, análises em países do BRICS e em economias africanas apontam que a governança possui maior relevância relativa na avaliação de riscos e condições de financiamento, reforçando sua centralidade em ambientes com maior fragilidade institucional (Dua; Sharma, 2024; Maama; Marimuthu, 2022).

Adicionalmente, evidências de mercados emergentes apontam para resultados heterogêneos quanto aos efeitos do ESG sobre variáveis financeiras e de risco. No mercado indonésio, a adoção de práticas ESG não é necessariamente percebida de forma positiva pelos investidores, podendo ser interpretada como sinal de sobreinvestimento (Tanjung, 2023). Ainda assim, tais práticas estão associadas a maior resiliência em períodos de crise, indicando que seus benefícios se manifestam sobretudo na mitigação de riscos e na estabilidade operacional das empresas.

De forma complementar, os efeitos das práticas de sustentabilidade também dependem da forma como são comunicadas ao mercado. Evidências do contexto turco indicam que mecanismos de divulgação, como o Relato Integrado, não são suficientes, por si só, para melhorar a percepção dos investidores. No entanto, quando associados a níveis mais elevados de desempenho ESG, especialmente nos pilares de governança e social, contribuem para a redução de incertezas e para o fortalecimento da confiança (Pirgaip; Rizvić, 2023).

Adicionalmente, a literatura indica que a relação entre práticas ESG e variáveis financeiras não é necessariamente linear. Evidências sugerem a existência de efeitos não

monotônicos, nos quais níveis moderados de investimento em sustentabilidade contribuem para a redução da percepção de risco, enquanto níveis excessivos podem gerar efeitos adversos. No contexto chinês, Ye e Zhang (2011) identificam uma relação em formato de U entre responsabilidade social corporativa e custos de financiamento por dívida, indicando que os benefícios associados ao ESG se reverterem quando há sobreinvestimento.

De forma semelhante, Gonçalves *et al.* (2022) mostram que, embora o desempenho ambiental inicialmente contribua para a redução do risco percebido pelos investidores, níveis elevados de investimento podem ser interpretados como alocação ineficiente de recursos, resultando em efeitos negativos. Esses achados reforçam que o impacto do ESG sobre o risco corporativo pode variar conforme a intensidade das práticas adotadas, sugerindo a relevância de abordagens que considerem possíveis relações não lineares.

No contexto brasileiro, a análise das práticas ESG apresenta especificidades relevantes. Apesar da crescente difusão dessas práticas, sua incorporação nas decisões de investimento ainda se encontra em processo de consolidação (Piccioni; Bastos; Cajueiro, 2024). Nesse ambiente, a governança corporativa assume papel de destaque, especialmente diante de episódios recentes que ampliaram a preocupação dos investidores com transparência e integridade. Evidências empíricas indicam que práticas de governança estão associadas a melhores indicadores de desempenho, reforçando sua relevância no contexto nacional (Possebon *et al.*, 2024).

Além da abordagem baseada na assimetria de informação, a relação entre ESG e risco pode ser analisada à luz da teoria de precificação de ativos. O Modelo de Precificação de Ativos Financeiros (CAPM), proposto por Sharpe (1964) e Lintner (1965), estabelece que o retorno esperado de um ativo está associado ao seu risco sistemático, mensurado pelo coeficiente beta. Nesse sentido, fatores que afetam a percepção de risco das empresas podem influenciar diretamente sua sensibilidade às variações do mercado.

A literatura recente tem buscado incorporar os fatores ESG nesse arcabouço teórico. Zerbib (2022), ao desenvolver um modelo de precificação com preferências heterogêneas, demonstra que práticas ESG influenciam o risco sistemático percebido pelos investidores, afetando o prêmio pelo risco. De forma complementar, evidências indicam que a inclusão de critérios ESG pode estar associada a diferenças no desempenho

esperado dos ativos, sugerindo a necessidade de adaptação dos modelos tradicionais de precificação (Anelli; Patanè; Zedda, 2025).

Adicionalmente, estudos indicam que riscos que afetam a covariância dos retornos das empresas com o mercado são precificados pelos investidores, influenciando sua exposição ao risco sistemático (Johnstone; Grant, 2024). Nesse contexto, as práticas ESG emergem como potenciais determinantes da percepção de risco, reforçando a relevância de sua análise no âmbito da precificação de ativos.

Assim, levanta-se as seguintes hipóteses:

H1: *O pilar de governança apresenta maior efeito redutor sobre o risco sistemático (beta) das empresas, em comparação aos pilares ambiental e social;*

H2: *A relação entre o desempenho ESG e o risco sistemático é não linear;*

H3: *Os pilares ambiental e social apresentam efeitos condicionais sobre o risco sistemático, dependendo do nível de desempenho das empresas.*

3. METODOLOGIA

3.1 Amostra, período e coleta dos dados

A pesquisa possui natureza quantitativa, com delineamento exploratório e descritivo, utilizando métodos estatísticos e matemáticos para a análise de dados numéricos e a investigação das relações entre as variáveis (Gil, 2008; Creswell, 2014). A população do estudo compreende as empresas de capital aberto listadas na bolsa de valores brasileira (B3). Foram excluídas da amostra as instituições do setor financeiro, em decorrência de suas regras contábeis e regulatórias específicas.

Os dados financeiros, contábeis e as pontuações dos pilares Ambiental, Social e de Governança (ESG) foram extraídos da base de dados LSEG Workspace (anteriormente Refinitiv). A variável dependente, representativa do risco sistemático, foi mensurada pelo Beta Dinâmico (código TR.WACCBeta disponível na plataforma). Essa métrica adota uma abordagem de disponibilidade de dados, priorizando o cálculo com retornos mensais de cinco anos e ajustando-se para janelas semanais de três ou dois anos no caso de companhias com menor histórico de listagem.

O período de análise abrange os anos de 2014 a 2025. Essa delimitação ocorreu em função da disponibilidade de dados da variável dependente, acessível de forma consistente na plataforma a partir do ano de 2015. Pelo fato de o modelo metodológico estabelecer uma defasagem temporal de um ano para prever o risco sistemático, os dados

das variáveis independentes (escores ESG) e de controle foram coletados a partir de 2014. Após o pareamento temporal e a exclusão das observações com dados ausentes, a amostra final resultou em um painel desbalanceado composto por 99 empresas únicas, com média de permanência de 6,9 anos por companhia, totalizando 685 observações.

3.2 Definição das variáveis

A variável dependente deste estudo representa o risco sistemático, mensurado pelo coeficiente Beta (β). Essa métrica avalia a covariância dos retornos da empresa em relação aos retornos do mercado e reflete o risco percebido pelos investidores (Sharpe, 1964).

As variáveis independentes principais consistem nas pontuações de desempenho dos pilares Ambiental, Social e de Governança (ESG) (Wong *et al.*, 2021; Macedo *et al.*, 2022; Possebon *et al.*, 2024). Com o intuito de mitigar o viés de variável omitida, o modelo incorpora variáveis de controle consolidadas na literatura financeira: o tamanho da empresa, calculado pelo logaritmo natural do ativo total; a alavancagem, definida pela razão entre a dívida total e o ativo total; e a rentabilidade, mensurada pelo retorno sobre o ativo (ROA) (Eliwa *et al.*, 2021; Macedo *et al.*, 2022; Possebon *et al.*, 2024).

Para minimizar problemas de endogeneidade decorrentes de simultaneidade e para viabilizar a arquitetura do modelo preditivo, aplicou-se uma defasagem temporal de um período financeiro ($t-1$) nas variáveis independentes e de controle. Por meio desse procedimento, o risco sistemático do ano t foi estimado com base nos escores ESG e nos indicadores contábeis referentes ao ano fiscal imediatamente anterior.

Visando garantir a estabilidade do algoritmo e evitar distorções no aprendizado de máquina, os dados contínuos referentes ao risco sistemático, aos escores ESG e aos controles financeiros foram submetidos ao tratamento estatístico de winsorização nos percentis 1% e 99% (Lai *et al.*, 2025; Temiz, 2022; Yu *et al.*, 2025).

As variáveis empregadas, suas respectivas definições e a base teórica de suporte estão sumarizadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Variáveis do estudo

Variável	Nomenclatura no modelo	Descrição e operacionalização	Referência
Risco Sistemático	Beta	Coefficiente Beta dinâmico medido no ano t	Sharpe (1964)
Pilar Ambiental	Environmental	Escala de 0 a 100 para o desempenho ambiental no ano $t-1$	Makkar <i>et al.</i> , (2025); Pirgaip e Rizvić (2023)

Pilar Social	Social	Escala de 0 a 100 para o desempenho ambiental no ano t-1	Makkar <i>et al.</i> , (2025); Pirgaip e Rizvić (2023)
Pilar Governança	Governance	Escala de 0 a 100 para o desempenho ambiental no ano t-1	Makkar <i>et al.</i> , (2025); Pirgaip e Rizvić (2023)
Tamanho	Size	Logaritmo natural do ativo total medido no ano t-1	Dua e Sharma (2024); Pirgaip e Rizvić (2023); Tanjung (2023); Wan Mohammad e Roseli (2025)
Alavancagem	Leverage	Razão entre a dívida total e o ativo total no ano t-1	Dua e Sharma (2024); Wan Mohammad e Roseli (2025)
Rentabilidade	ROA	Razão entre o lucro líquido e o ativo total no ano t-1	Dua e Sharma (2024); Tanjung (2023); Wan Mohammad e Roseli (2025)

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

3.3 Modelagem preditiva

Para responder à pergunta de pesquisa, o estudo emprega um framework de *machine learning*, superando as limitações dos modelos lineares tradicionais ao capturar interações complexas e não lineares nos dados financeiros (Gu; Kelly; Xiu, 2020). O algoritmo selecionado é o XGBoost (Extreme Gradient Boosting), estruturado a partir de árvores de decisão. A aplicação desse algoritmo justifica-se por sua capacidade preditiva e por sua integração nativa com técnicas de Inteligência Artificial Explicável, especificamente o método SHAP (SHapley Additive exPlanations) (Kovvuri *et al.*, 2023). A combinação dessas ferramentas permite interpretar as decisões matemáticas do modelo computacional e identificar quais dimensões ESG exercem maior poder explicativo sobre o risco sistemático (Beta).

O painel de dados foi submetido a um processo de divisão aleatória para o treinamento e a validação do algoritmo. A amostra foi segmentada destinando 80% das observações para a base de treino, etapa em que o modelo identifica os padrões de relacionamento entre as variáveis, e 20% para a base de teste. A base de teste consiste em um conjunto de dados não vistos pelo algoritmo durante a fase de aprendizado e é utilizada exclusivamente para atestar a precisão das estimativas fora da amostra original.

O algoritmo XGBoost foi configurado como um regressor, operando por meio da construção sequencial de 100 estimadores. Nesse método, cada nova árvore de decisão é desenvolvida para corrigir os erros residuais gerados pela árvore anterior. A taxa de aprendizado foi fixada em 0.05 para proporcionar uma convergência gradual dos cálculos.

A profundidade máxima das árvores foi restrita ao valor 3. Essa limitação estrutural foi adotada para adequar o modelo ao tamanho da amostra, forçando a criação de árvores rasas com o objetivo de prevenir o sobreajuste (overfitting). O sobreajuste ocorre quando o algoritmo memoriza os dados de treino específicos e perde a capacidade de generalizar previsões em novos cenários.

O desempenho preditivo do modelo foi avaliado através do R^2 (coeficiente de determinação) aplicada à base de teste. Para a interpretação dos resultados do *machine learning*, a biblioteca SHAP foi executada na linguagem Python. Por meio dessa biblioteca, foram gerados gráficos de importância das variáveis, que hierarquizam os fatores preditivos; gráficos de impacto detalhado, que identificam a direção da influência das notas ESG no risco; e gráficos de dependência, elaborados para mapear as relações não lineares e os retornos marginais dos escores de sustentabilidade.

4. RESULTADOS

A análise é conduzida em duas etapas complementares. Inicialmente, examina-se a distribuição e a interdependência das variáveis após o tratamento dos dados, de modo a assegurar a consistência das inferências subsequentes. Na sequência, avalia-se o desempenho do modelo XGBoost e a contribuição relativa das variáveis explicativas, explorada por meio da abordagem SHAP.

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas no estudo, com base em 685 observações. A variável dependente BETA apresenta média de 0,9820, indicando que, em termos agregados, o risco sistemático das empresas acompanha de perto o comportamento do mercado. A dispersão observada (desvio padrão de 0,5175 e intervalo entre -0,0362 e 2,4891) evidencia heterogeneidade relevante entre as firmas, sugerindo diferenças substanciais na exposição ao risco de mercado.

Tabela 1 - Estatística descritiva

	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
BETA	685	0,9820	0,5175	-0,0362	0,6225	0,9047	1,2762	2,4891
Environmental	685	50,1347	25,0693	0,0000	33,4725	53,0076	68,9469	94,4149
Social	685	55,7758	22,4941	1,5605	40,8302	58,3552	72,7736	94,5036
Governance	685	51,2194	21,9581	8,4032	33,9336	52,8181	68,4878	92,3718
Size	685	22,3152	1,2252	19,6228	21,5416	22,2783	23,0990	26,1012
Leverage	685	0,3600	0,1866	0,0005	0,2385	0,3477	0,4797	0,8588
ROA	685	0,0446	0,0728	-0,2440	0,0108	0,0439	0,0798	0,2511

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

No que se refere às dimensões de sustentabilidade, o pilar Social apresenta a maior média (55,7758), seguido por Governança (51,2194) e Ambiental (50,1347). A amplitude dos escores e os desvios padrão relativamente elevados indicam significativa heterogeneidade no nível de maturidade ESG das empresas brasileiras. A presença de valores mínimos próximos de zero, em contraste com máximos superiores a 90 pontos, reforça a ausência de concentração dos dados em faixas específicas, o que favorece a identificação de relações empíricas entre desempenho sustentável e risco sistemático.

Quanto às variáveis de controle, o tamanho médio das empresas (Size) é de 22,3152, enquanto a alavancagem (Leverage) apresenta média de 0,3600 e a rentabilidade (ROA) de 0,0446. A variação observada nessas variáveis, especialmente no ROA, que assume valores negativos e positivos, sugere a presença de empresas em diferentes condições operacionais e financeiras. Essa heterogeneidade é relevante para a análise empírica, uma vez que permite controlar os determinantes tradicionais do risco antes de avaliar o papel específico dos fatores ESG.

A tabela 2 apresenta a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis do estudo, permitindo uma avaliação preliminar das relações lineares e de possíveis problemas de multicolinearidade.

Nota-se que as correlações entre o risco sistemático (BETA) e os escores dos pilares de sustentabilidade (Environmental, Social e Governance) são baixas, variando entre -0,0176 e -0,0475. Esses resultados sugerem a ausência de associação linear significativa entre risco de mercado e desempenho ESG em uma análise bivariada. Tal evidência está em linha com a literatura que aponta que os efeitos do ESG sobre variáveis financeiras podem não se manifestar de forma linear ou direta, dependendo de fatores contextuais e do nível de maturidade das práticas adotadas (Ye; Zhang, 2011; Gonçalves *et al.*, 2022). Ademais, em mercados emergentes, a precificação dos fatores ESG tende a ser heterogênea e, por vezes, incompleta, o que pode limitar a identificação de relações lineares simples (Tanjung, 2023; Pirgaip; Rizvić, 2023).

Tabela 2 – Matriz de Correlação das Variáveis

	BETA	Environmental	Social	Governance	Size	Leverage	ROA
BETA	1						
Environmental	-0,0176	1					
Social	-0,0475	0,7514	1				
Governance	-0,0248	0,3173	0,4771	1			
Size	0,0455	0,4839	0,4838	0,324	1		

Leverage	0,1056	0,1026	0,1631	0,1258	0,1226	1
ROA	-0,2898	0,0247	0,0117	-0,0856	-0,1078	-0,4385

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

Entre as variáveis explicativas, destaca-se a correlação positiva entre os pilares Ambiental e Social (0,7514), sugerindo que práticas sustentáveis tendem a evoluir de forma conjunta nas empresas da amostra. Esse resultado é consistente com a abordagem integrada do ESG, na qual diferentes dimensões de sustentabilidade são frequentemente implementadas de maneira complementar (Leins, 2020). Ainda assim, o coeficiente permanece abaixo dos níveis usualmente associados à multicolinearidade severa, indicando que a inclusão simultânea das dimensões ESG no modelo é empiricamente adequada.

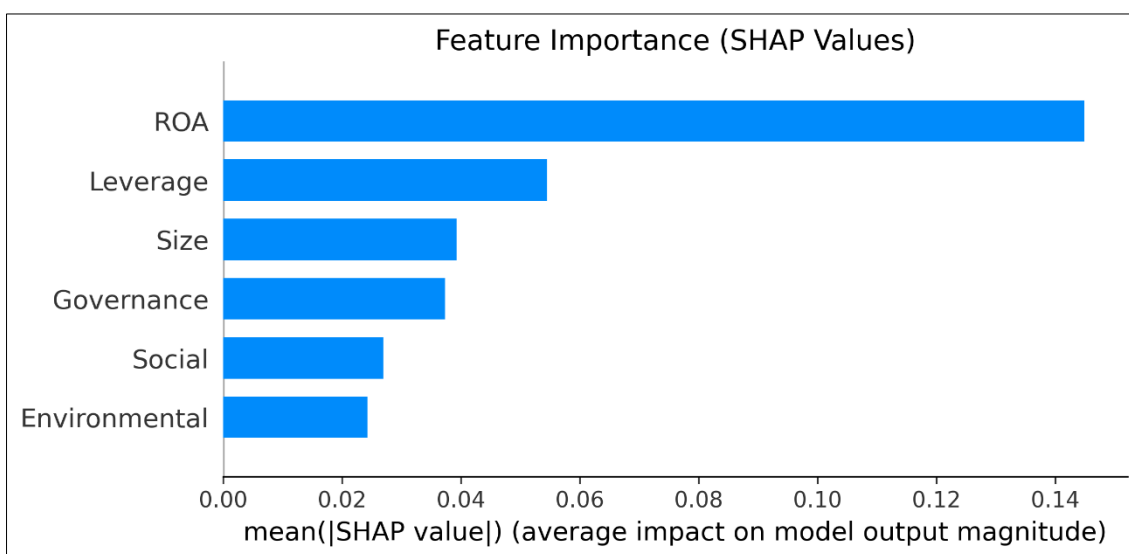
Entre as variáveis de controle, o tamanho das empresas (Size) apresenta correlação positiva com os escores ESG, indicando que firmas maiores tendem a apresentar níveis mais elevados de sustentabilidade e governança, o que pode refletir maior capacidade de investimento e maior pressão por transparência por parte dos stakeholders (Bani-Khaled; Azevedo; Oliveira, 2025). Adicionalmente, a rentabilidade (ROA) exibe correlação negativa com o BETA (-0,2898) e com a alavancagem (-0,4385), em linha com a expectativa teórica de que empresas mais lucrativas apresentam menor risco e menor dependência de capital de terceiros, reduzindo sua exposição a variações do mercado (Sharpe, 1964).

Antes de extrair inferências sobre a importância de cada variável, a capacidade preditiva do algoritmo XGBoost foi validada na base de teste (*out-of-sample*). O modelo atingiu um coeficiente de determinação (R^2) de 0,2204, indicando que as variáveis contáveis e as dimensões ESG explicam aproximadamente 22% da variância do risco sistemático das empresas da amostra. Adicionalmente, o Erro Médio Absoluto (MAE) situou-se em 0,3593. Considerando a alta volatilidade inerente à precificação de ativos em mercados emergentes e a complexidade de prever o coeficiente Beta corporativo, essas métricas atestam a robustez do aprendizado computacional, garantindo confiabilidade estatística para a decomposição dos resultados por meio da técnica SHAP.

Embora o Erro Médio Absoluto (0,3593) evidencie a complexidade e a presença de ruído idiossincrático na previsão exata do risco de mercado, a métrica apresenta-se inferior ao desvio padrão da variável dependente (0,5175). Esse resultado confirma a validade do aprendizado do algoritmo.

A Figura 1 apresenta a importância das variáveis com base nos valores médios absolutos de SHAP, os quais mensuram a contribuição média de cada variável para a magnitude das previsões do modelo. Observa-se que a variável rentabilidade (ROA) exerce a maior influência sobre o risco sistemático, destacando-se de forma significativa em relação às demais variáveis explicativas. Esse resultado se alinha com a literatura financeira, que associa empresas mais lucrativas a menor exposição ao risco, em função de maior estabilidade operacional e menor dependência de financiamento externo (Sharpe, 1964).

Figura 1 - Importância das variáveis



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Em seguida, a alavancagem (Leverage) e o tamanho das empresas (Size) também apresentam contribuições relevantes, indicando que fatores financeiros tradicionais desempenham papel central na determinação do risco de mercado. Esses achados reforçam a evidência de que a estrutura de capital e as características operacionais das firmas continuam sendo determinantes fundamentais do risco sistemático, mesmo em modelos que incorporam variáveis não financeiras.

Considerando as dimensões ESG, os pilares de Governança, Social e Ambiental apresentam menor contribuição relativa no modelo, embora ainda exerçam influência marginal sobre as previsões. Entre eles, a governança se destaca como o fator mais relevante, sugerindo que práticas institucionais, mecanismos de controle e transparência possuem maior associação com a percepção de risco por parte dos investidores. Esse resultado converge com evidências empíricas que apontam a centralidade da governança em economias emergentes, onde estruturas institucionais mais frágeis ampliam a

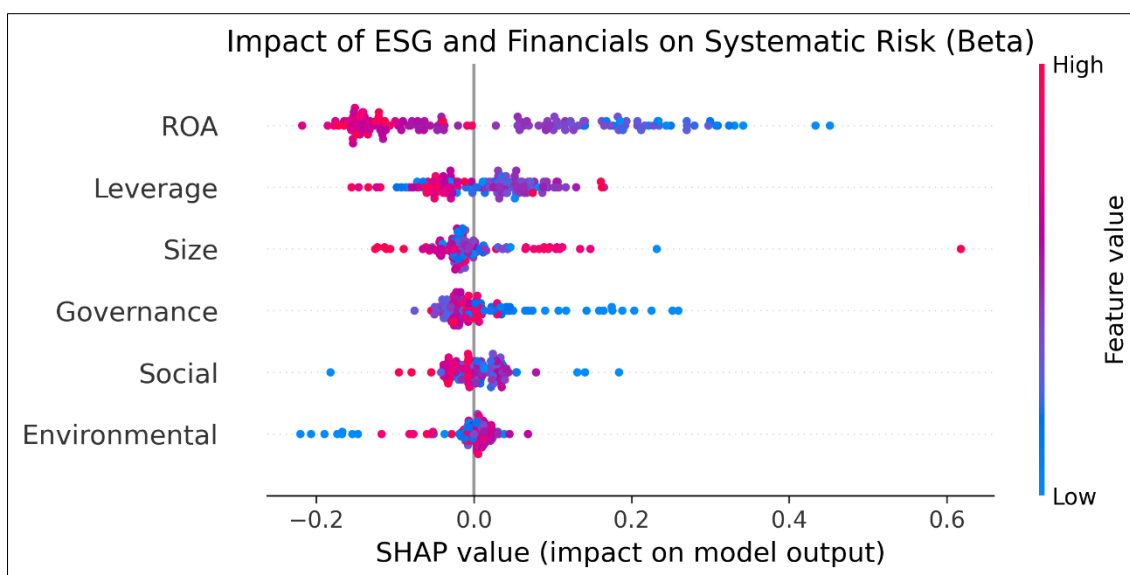
importância de mecanismos internos de monitoramento e redução de assimetria informacional (Nguyen; Duong, 2025; Makkar *et al.*, 2025; Dua; Sharma, 2024).

De forma geral, os resultados indicam que, embora os fatores ESG contribuam para a explicação do risco, seu impacto é secundário em relação às variáveis financeiras tradicionais. Esse achado é coerente com a literatura que sugere que, em mercados emergentes, a incorporação de fatores ESG ainda ocorre de maneira gradual e, por vezes, incompleta, o que limita sua influência direta na precificação do risco (Tanjung, 2023; Pirgaip; Rizvić, 2023). Ainda assim, a presença de contribuições marginais positivas indica que tais fatores podem atuar como complementares na avaliação do risco corporativo, especialmente quando considerados em conjunto com variáveis financeiras.

Nesse contexto, a maior contribuição relativa do pilar de governança em comparação aos pilares social e ambiental fornece evidências iniciais em favor da Hipótese 1, ao indicar sua maior relevância na explicação do risco sistemático.

A Figura 2 apresenta a distribuição dos valores SHAP para cada variável explicativa, permitindo analisar não apenas a magnitude, mas também a direção do impacto sobre o risco sistemático. Cada ponto representa uma observação, sendo que a posição no eixo horizontal indica a contribuição da variável para a previsão do modelo, enquanto a coloração reflete o nível da variável (valores mais altos em vermelho e mais baixos em azul).

Figura 2 - Distribuição dos valores SHAP



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Os achados revelam que a rentabilidade (ROA) exerce influência predominantemente negativa sobre o risco sistemático, uma vez que valores mais elevados da variável estão associados a contribuições negativas de SHAP. Esse padrão indica que empresas mais lucrativas tendem a apresentar menor sensibilidade às oscilações do mercado, o que pode ser atribuído à maior estabilidade operacional e à geração interna de recursos, reduzindo a exposição a fontes externas de financiamento e, conseqüentemente, ao risco (Sharpe, 1964).

Em relação à alavancagem, verifica-se um padrão oposto, no qual valores mais elevados estão associados a impactos positivos sobre o BETA, indicando que empresas mais endividadas tendem a apresentar maior risco sistemático.

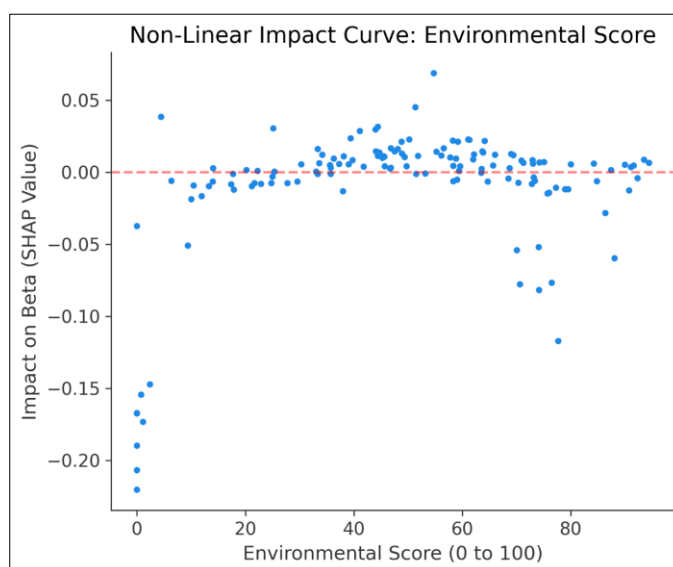
A variável tamanho apresenta um efeito menos concentrado, com evidências de impactos tanto positivos quanto negativos, sugerindo uma relação não linear com o risco de mercado. Esse comportamento pode refletir diferenças estruturais entre empresas grandes, que podem tanto se beneficiar de economias de escala quanto enfrentar maior exposição a riscos sistêmicos.

No que se refere às variáveis ESG, observa-se que os efeitos se concentram, em grande medida, próximos de zero, indicando menor contribuição marginal direta para a explicação do risco sistemático. Ainda assim, o pilar de governança apresenta indícios de que níveis mais elevados estão associados à redução do risco, o que pode refletir o papel dessas práticas na mitigação da assimetria informacional e no fortalecimento dos mecanismos de controle interno (Nguyen; Duong, 2025; Makkar *et al.*, 2025). Por outro lado, os pilares social e ambiental exibem padrões menos definidos, o que sugere que seus efeitos podem depender de fatores condicionais, como o nível de adoção das práticas ou a forma como são percebidas pelos investidores (Ye; Zhang, 2011; Gonçalves *et al.*, 2022).

Assim, os resultados reforçam que variáveis financeiras tradicionais desempenham papel predominante na explicação do risco sistemático, enquanto os fatores ESG apresentam efeitos mais sutis e potencialmente não lineares, cuja interpretação exige uma abordagem mais detalhada.

A Figura 3 apresenta a curva de dependência SHAP para o pilar ambiental, mostrando a relação não linear entre o desempenho ambiental das empresas e o risco sistemático. O eixo horizontal representa os escores ambientais, enquanto o eixo vertical indica o impacto marginal da variável sobre o BETA.

Figura 3 – Curva de dependência: pilar ambiental



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Os resultados apontam que, em níveis muito baixos de desempenho ambiental, os valores de SHAP são predominantemente negativos, sugerindo uma redução do risco sistemático nessas condições. À medida que os escores aumentam, o impacto tende a se aproximar de zero, indicando uma perda de influência marginal do fator ambiental sobre o risco.

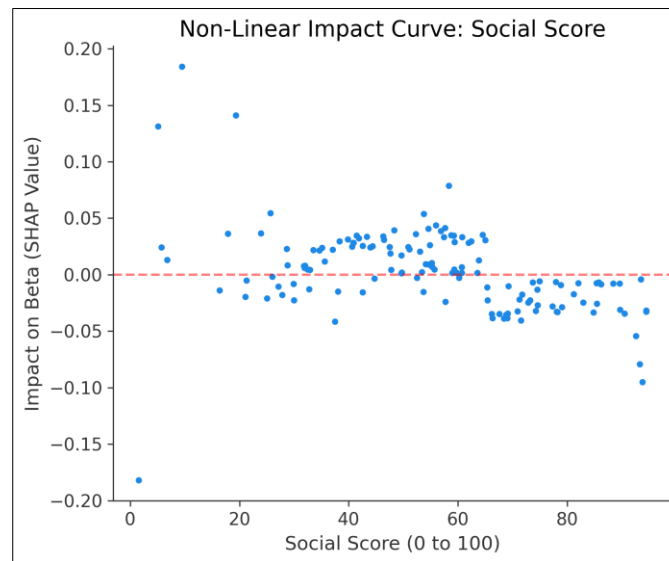
Em níveis intermediários e elevados, a relação torna-se mais instável, com alternância entre impactos positivos e negativos. Esse padrão reforça a ausência de uma relação monotônica entre o pilar ambiental e o risco sistemático, indicando que seus efeitos não seguem uma trajetória linear simples. Tal comportamento dialoga com evidências que apontam para efeitos não lineares das práticas ESG, nos quais benefícios iniciais podem se reduzir ou até se reverter à medida que os investimentos se intensificam, sobretudo quando passam a ser percebidos como excessivos (Ye; Zhang, 2011; Gonçalves *et al.*, 2022).

Os resultados sugerem que o desempenho ambiental exerce influência limitada e dependente do contexto sobre o risco sistemático. A concentração dos impactos próximos de zero ao longo de grande parte da distribuição indica que essa dimensão não é precificada de maneira consistente pelo mercado analisado, resultado que se aproxima de evidências empíricas em economias emergentes, nas quais fatores ambientais tendem a apresentar menor relevância relativa na avaliação de risco quando comparados a outras dimensões, como a governança (Makkar *et al.*, 2025). Assim, o pilar ambiental parece

atuar mais como um elemento complementar do que como um determinante central do risco de mercado. Esse comportamento reforça a Hipótese 2, ao evidenciar que a relação entre desempenho ESG e risco sistemático não segue um padrão linear simples.

A Figura 4 apresenta a curva de dependência SHAP para o pilar social, evidenciando a relação não linear entre o desempenho social das empresas e o risco sistemático.

Figura 4 – Curva de dependência: pilar social



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Observa-se que, em níveis baixos de desempenho social, os valores de SHAP apresentam elevada dispersão, com a presença de impactos tanto positivos quanto negativos, sugerindo instabilidade na relação entre essa dimensão e o risco de mercado. À medida que os escores aumentam para níveis intermediários, os impactos tornam-se predominantemente positivos, indicando que melhorias no desempenho social podem estar associadas a um aumento marginal do risco sistemático nesse intervalo.

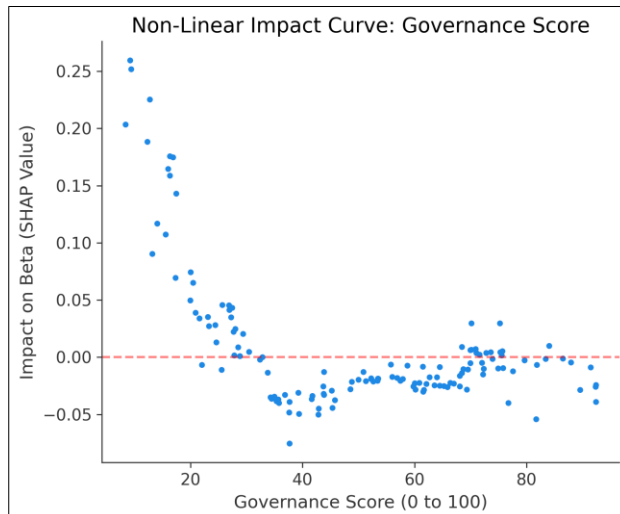
Em contrapartida, nos níveis mais elevados de desempenho social, verifica-se uma reversão desse comportamento, com predominância de impactos negativos sobre o BETA. Esse padrão sugere a presença de uma relação não linear, possivelmente em formato de U invertido, na qual níveis intermediários estão associados a maior risco, enquanto níveis mais elevados contribuem para sua redução. Esse tipo de dinâmica é compatível com evidências que indicam que os benefícios das práticas ESG não se distribuem de forma homogênea, podendo emergir apenas após determinado nível de maturidade ou intensidade das iniciativas (Ye; Zhang, 2011; Gonçalves *et al.*, 2022).

Os resultados indicam que o efeito do pilar social sobre o risco sistemático é condicionado ao nível de desempenho das empresas, não sendo plenamente captado por especificações lineares. Esse comportamento sugere que o mercado distingue entre diferentes estágios de adoção das práticas sociais, atribuindo maior relevância a níveis mais elevados, possivelmente em função de ganhos reputacionais mais consolidados e maior previsibilidade operacional. Esses resultados corroboram as Hipóteses 2 e 3, ao indicar que os efeitos do pilar social sobre o risco sistemático são não lineares e condicionados ao nível de desempenho das empresas.

Essa interpretação também converge com evidências de que, em mercados emergentes, fatores sociais tendem a exercer influência mais limitada ou dependente de contexto na avaliação de risco, em especial quando comparados à governança (Pirgaip; Rizvić, 2023; Makkar *et al.*, 2025).

Por fim, a Figura 5 apresenta a curva de dependência SHAP para o pilar de governança, evidenciando uma relação não linear clara entre a qualidade das práticas de governança corporativa e o risco sistemático.

Figura 5 – Curva de dependência: pilar de governança



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Os resultados indicam que empresas com estruturas de governança mais frágeis (níveis baixos) sofrem impactos positivos expressivos sobre o risco sistemático, refletindo uma maior exposição ao risco de mercado. Contudo, o aumento nos escores de governança reduz esse efeito, culminando em uma relação negativa quando atingidos níveis intermediários.

Em níveis mais elevados de governança, os impactos tendem a se estabilizar próximos de zero ou levemente negativos, indicando que os benefícios associados à redução do risco se concentram principalmente nas fases iniciais de melhoria. Esse comportamento sugere a presença de retornos marginais decrescentes, em que avanços adicionais em contextos já bem estruturados produzem efeitos mais limitados sobre a percepção de risco. Tal evidência se aproxima dos resultados de Gonçalves *et al.* (2022) de abordagens que destacam que os ganhos provenientes das práticas ESG não são proporcionais ao longo de toda a sua distribuição, sendo mais intensos em níveis iniciais de adoção.

Por fim, os resultados apontam que a governança corporativa exerce um papel mais consistente na explicação do risco sistemático quando comparada às demais dimensões ESG. Esse padrão pode ser interpretado à luz da literatura que enfatiza a relevância da governança como mecanismo de mitigação da assimetria de informação e de alinhamento de interesses entre gestores e acionistas (Jensen; Meckling, 1976), especialmente em economias emergentes, onde fragilidades institucionais ampliam a importância de mecanismos internos de monitoramento (Nguyen; Duong, 2025; Dua; Sharma, 2024).

Assim, a governança se destaca não apenas pela direção de seu efeito, mas também pela maior previsibilidade de sua relação com o risco de mercado. Em conjunto, esses achados reforçam a Hipótese 1, ao evidenciar o papel mais consistente da governança na redução do risco sistemático, bem como a Hipótese 2, ao confirmar a presença de uma relação não linear entre desempenho ESG e risco de mercado.

5. CONCLUSÕES

Este estudo investigou como o desempenho nas dimensões Ambiental, Social e de Governança afeta o risco sistemático de companhias abertas brasileiras, com foco em relações não lineares. A aplicação de algoritmos preditivos com técnicas de explicabilidade mostrou que determinantes financeiros tradicionais, especialmente a rentabilidade sobre o ativo, seguem como os principais fatores de mitigação do risco de mercado. No âmbito do ESG, o pilar de governança apresentou o efeito redutor mais consistente sobre o coeficiente beta, sobretudo nas fases iniciais de estruturação corporativa.

A análise das curvas de dependência indica que os efeitos da governança seguem uma lógica de retornos marginais decrescentes, com maior redução do risco na transição

de níveis baixos para intermediários de qualidade institucional e posterior estabilização. Esse resultado é coerente com a literatura sobre economias emergentes, nas quais melhorias iniciais de governança sinalizam maior confiabilidade ao mercado. Em contraste, as dimensões ambiental e social apresentaram efeitos mais limitados e condicionais, reforçando evidências de que sua precificação é heterogênea e tende a depender de níveis mais elevados e persistentes de desempenho.

A pesquisa oferece contribuições metodológicas e empíricas ao demonstrar a insuficiência de abordagens estritamente lineares para precificar ativos sob a ótica da sustentabilidade. A utilização da modelagem baseada em árvores de decisão permitiu mapear os limiares exatos em que as práticas ESG começam a gerar valor tangível. Sob a perspectiva prática, os resultados orientam gestores corporativos na priorização de investimentos, sugerindo que a alocação de recursos em governança oferece a via mais eficiente para a redução do custo de capital no cenário nacional. Paralelamente, o estudo fornece aos investidores um referencial quantitativo refinado para a calibragem de modelos de avaliação de risco, desencorajando a utilização de pontuações ESG agregadas que tendem a mascarar a exposição real da operação.

O estudo apresenta alguns limitantes inerentes à natureza dos dados, como a restrição amostral imposta pelo histórico recente de divulgações de sustentabilidade no mercado brasileiro. Diante dessas delimitações, uma agenda de pesquisa futura deve contemplar a aplicação de métodos avançados de inferência causal, a exemplo da técnica de *Double Machine learning*, para isolar o efeito exógeno das práticas sustentáveis sobre as taxas de financiamento corporativo. Assim, o estudo contribui para o avanço da literatura financeira ao evidenciar que a mitigação do risco de mercado não decorre de um compromisso genérico com a sustentabilidade, mas sim da consolidação de estruturas de governança capazes de blindar a organização contra as incertezas institucionais.

REFERÊNCIAS

Ahmed, Z. N., Hamad, H. A., & Qader, K. S. (2024). Effect of Environmental Social and Governance (ESG) Performance on Profitability of Non-Financial Firms. *Qalaai Zanist Scientific Journal*, 9(2). <https://doi.org/10.25212/lfu.qzj.9.2.43>

Anelli, M., Patané, M., & Zedda, S. (2025). The CAPM in the ESG era: Disentangling the general transition risk. *Corporate Governance: The International Journal of Business in Society*, 1–32. <https://doi.org/10.1108/CG-10-2024-0560>

Bani-Khaled, S., Azevedo, G., & Oliveira, J. (2025). Environmental, social, and governance (ESG) factors and firm value: A systematic literature review of theories and

empirical evidence. *AMS Review*, 15(1–2), 228–260. <https://doi.org/10.1007/s13162-025-00303-2>

Bishop, C. M. (2016). *Pattern Recognition and Machine Learning* (Softcover reprint of the original 1st edition 2006 (corrected at 8th printing 2009)). Springer New York.

Chen, Y., Li, T., Zeng, Q., & Zhu, B. (2023). Effect of ESG performance on the cost of equity capital: Evidence from China. *International Review of Economics & Finance*, 83, 348–364. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2022.09.001>

Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4. ed). SAGE.

Dua, J., & Sharma, A. K. (2024). Corporate Sustainability and Capital Costs: A Panel Evidence from BRICS Countries. *Indian Journal of Corporate Governance*, 17(1), 77–101. <https://doi.org/10.1177/09746862241240368>

Easley, D., & O'hara, M. (2004). Information and the Cost of Capital. *The Journal of Finance*, 59(4), 1553–1583. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2004.00672.x>

Eliwa, Y., Aboud, A., & Saleh, A. (2021). ESG practices and the cost of debt: Evidence from EU countries. *Critical Perspectives on Accounting*, 79, 102097. <https://doi.org/10.1016/j.cpa.2019.102097>

Friedman, M. (1970). *The social responsibility of business is to increase its profits*. The New York Times Magazine, September 13, 32–33, 122–126.

Garzón- Jiménez, R., & Zorio-Grima, A. (2022). Sustainability in the food and beverage sector and its impact on the cost of equity. *British Food Journal*, 124(8), 2497–2511. <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2021-0572>

Gil, A. C. (2008). *Métodos E Técnicas De Pesquisa Social*. Atlas.

Gonçalves, T., Dias, J., & Barros, V. (2022). Sustainability Performance and the Cost of Capital. *International Journal of Financial Studies*, 10(3), 63. <https://doi.org/10.3390/ijfs10030063>

Goodell, J. W., Kumar, S., Lim, W. M., & Pattnaik, D. (2021). Artificial intelligence and machine learning in finance: Identifying foundations, themes, and research clusters from bibliometric analysis. *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, 32, 100577. <https://doi.org/10.1016/j.jbef.2021.100577>

Gu, S., Kelly, B., & Xiu, D. (2020). Empirical Asset Pricing via Machine Learning. *The Review of Financial Studies*, 33(5), 2223–2273. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhaa009>

Healy, P. M., & Palepu, K. G. (2001). Information asymmetry, corporate disclosure, and the capital markets: A review of the empirical disclosure literature. *Journal of Accounting and Economics*, 31(1–3), 405–440. [https://doi.org/10.1016/S0165-4101\(01\)00018-0](https://doi.org/10.1016/S0165-4101(01)00018-0)

Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305–360. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(76\)90026-X](https://doi.org/10.1016/0304-405X(76)90026-X)

- Johnstone, D., & Grant, A. (2025). Zero-beta risks and required returns: ESG and CAPM. *Financial Management*, 54(1), 33–52. <https://doi.org/10.1111/fima.12475>
- Kovvuri, V. R. R., Fu, H., Fan, X., & Seisenberger, M. (2023). Fund performance evaluation with explainable artificial intelligence. *Finance Research Letters*, 58, 104419. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104419>
- Lai, F., Cheng, X., Li, A., Xiong, D., & Li, Y. (2025). Does flood risk affect the implied cost of equity capital? *Finance Research Letters*, 71, 106452. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.106452>
- Leins, S. (2020). ‘Responsible investment’: ESG and the post-crisis ethical order. *Economy and Society*, 49(1), 71–91. <https://doi.org/10.1080/03085147.2020.1702414>
- Liaras, E., Nerantzidis, M., & Alexandridis, A. (2024). Machine learning in accounting and finance research: A literature review. *Review of Quantitative Finance and Accounting*. <https://doi.org/10.1007/s11156-024-01306-z>
- Lintner, J. (1965). The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets. *The Review of Economics and Statistics*, 47(1), 13. <https://doi.org/10.2307/1924119>
- Maama, H., & Marimuthu, F. (2022). Integrated reporting and cost of capital in sub-Saharan African countries. *Journal of Applied Accounting Research*, 23(2), 381–401. <https://doi.org/10.1108/JAAR-10-2020-0214>
- Macedo, P. D. S., Rocha, P. S., Rocha, E. T., Tavares, G. F., & Jucá, M. N. (2022). O Impacto do ESG no Valor e Custo de Capital das Empresas. *Contabilidade Gestão e Governança*, 25(2), 159–175. <https://doi.org/10.51341/cgg.v25i2.2802>
- Mahanta, A., Chandra Sahu, N., Kumar Behera, P., & Kumar, P. (2024). Variations in financial performance of firms with ESG integration in business: The mediating role of corporate efficiency using DEA. *Green Finance*, 6(3), 518–562. <https://doi.org/10.3934/GF.2024020>
- Makkar, M. K., Bhat, B. A., Showkat, M., & Mabrouk, F. (2025). The ESG Paradox: Risk, Sustainability, and the Smokescreen Effect. *Sustainability*, 17(16), 7539. <https://doi.org/10.3390/su17167539>
- Manrique, S., & Martí-Ballester, C.-P. (2017). Analyzing the Effect of Corporate Environmental Performance on Corporate Financial Performance in Developed and Developing Countries. *Sustainability*, 9(11), 1957. <https://doi.org/10.3390/su9111957>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77. <https://doi.org/10.2307/2975974>
- Nguyen, H. C., & Duong, H. K. (2025). The impact of sustainability reporting on the cost of capital: Evidence from Vietnam’s listed companies. *Journal of Financial Reporting and Accounting*. <https://doi.org/10.1108/JFRA-09-2024-0642>
- Patanè, M., Ceccherini, P., Anelli, M., & D’Imperio, A. (2024). Integrazione ESG e vincoli regolamentari: Analisi di impatto sulla gestione di portafogli. *Bancaria*, 1, 47–59. <https://usienna-air.unisi.it/handle/11365/1255914>

- Piccioni, C. A., Bastos, S. B., & Cajueiro, D. O. (2024). Stock Price Reaction to Environmental, Social, and Governance News: Evidence from Brazil and Financial Materiality. *Sustainability*, 16(7), 2839. <https://doi.org/10.3390/su16072839>
- Pirgaip, B., & Rizvić, L. (2023). The Impact of Integrated Reporting on the Cost of Capital: Evidence from an Emerging Market. *Journal of Risk and Financial Management*, 16(7), 311. <https://doi.org/10.3390/jrfm16070311>
- Possebon, E. A. G., Cippiciani, F. A., Savoia, J. R. F., & De Mariz, F. (2024). ESG Scores and Performance in Brazilian Public Companies. *Sustainability*, 16(13), 5650. <https://doi.org/10.3390/su16135650>
- Ross, S. A. (1976). The arbitrage theory of capital asset pricing. *Journal of Economic Theory*, 13(3), 341–360. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(76\)90046-6](https://doi.org/10.1016/0022-0531(76)90046-6)
- Roy, P. P., Rao, S., & Zhu, M. (2022). Mandatory CSR expenditure and stock market liquidity. *Journal of Corporate Finance*, 72, 102158. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2022.102158>
- Sahu, N. C., Mahanta, A., & Jena, N. R. (2026). From corporate responsibility to corporate sustainability: A study of how ESG mitigates corporate default risk using serial mediation analysis. *Global Finance Journal*, 69, 101225. <https://doi.org/10.1016/j.gfj.2025.101225>
- Sharpe, W. F. (1964). Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. *The Journal of Finance*, 19(3), 425. <https://doi.org/10.2307/2977928>
- Silva-Noreña, R., Gavira-Durón, N., & Alonso-Rivera, A. (2024). Extensión del modelo de tres factores de Fama y French, rendimientos de mercado y sustentabilidad corporativa. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 19(4), 1–21. <https://doi.org/10.21919/remef.v19i4.1074>
- Tanjung, M. (2023). Cost of capital and firm performance of ESG companies: What can we infer from COVID-19 pandemic? *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 14(6), 1242–1267. <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-07-2022-0396>
- Temiz, H. (2022). Environmental performance and cost of finance: Evidence from emerging markets. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 13(5), 1229–1250. <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-12-2021-0537>
- Wan Mohammad, W. M., Roseli, E. S., & Wasiuzzaman, S. (2025). Unraveling the effect of resource use, environmental innovation and financing access in developed and emerging economies. *Studies in Economics and Finance*. <https://doi.org/10.1108/SEF-06-2024-0347>
- Wilberg, S., Kjellevoll, V., Holz, F., & Neumann, A. (2025). Impact of ESG performance on the cost of capital in the energy, utilities, and basic materials sectors. *Utilities Policy*, 97, 102016. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2025.102016>
- Wong, W. C., Batten, J. A., Ahmad, A. H., Mohamed-Arshad, S. B., Nordin, S., & Adzis, A. A. (2021). Does ESG certification add firm value? *Finance Research Letters*, 39, 101593. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101593>

Xu, Z., Liu, D., Li, Y., & Guo, F. (2025). ESG and Stock Price Volatility Risk: Evidence from Chinese A-share Market. *The North American Journal of Economics and Finance*, 75, 102277. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2024.102277>

Ye, K., & Zhang, R. (2011). Do Lenders Value Corporate Social Responsibility? Evidence from China. *Journal of Business Ethics*, 104(2), 197–206. <https://doi.org/10.1007/s10551-011-0898-6>

Yu, H., Liang, C., Wang, W., & Liu, X. (2025). Does environmental, social, and governance news coverage affect the cost of equity? A textual analysis of media coverage. *Frontiers in Public Health*, 13, 1509167. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1509167>

Zerbib, O. D. (2022). A Sustainable Capital Asset Pricing Model (S-CAPM): Evidence from Environmental Integration and Sin Stock Exclusion. *Review of Finance*, 26(6), 1345–1388. <https://doi.org/10.1093/rof/rfac045>

Zhang, X., Zhao, X., & He, Y. (2022). Does It Pay to Be Responsible? The Performance of ESG Investing in China. *Emerging Markets Finance and Trade*, 58(11), 3048–3075. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2022.2026768>