

Escola Superior de Gestão de Tomar

O risco climático físico e de transição no mercado de ações e criptomoedas

Dissertação de Mestrado

José Carlos Silva Santos

Mestrado em Auditoria e Finanças

Tomar, novembro 2024



Escola Superior de Gestão de Tomar

O risco climático físico e de transição no mercado de ações e criptomoedas

Dissertação de Mestrado

José Carlos Silva Santos

Orientado por:

Professor Doutor Renato Heitor Correia Domingues, Instituto
Politécnico de Tomar

*Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Tomar para cumprimento
dos requisitos necessários à obtenção do grau
de Mestre em Auditoria e Finanças*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar a minha profunda gratidão a todas as pessoas que contribuíram para que o meu percurso académico fosse mais motivador e interessante. Este trabalho reflete não apenas o foco e esforço individual, mas também o apoio e a inspiração de muitos amigos e família que estiveram ao meu lado.

Agradeço, em primeiro lugar, ao meu orientador, Renato Heitor Correia Domingues, pela orientação sábia, durante todas as etapas deste trabalho. A sua experiência e feedback constante foram fundamentais para a qualidade e o rigor da investigação.

Reconheço também o apoio ao longo desta jornada dos meus amigos, um muito obrigado à camaradagem GEBA que desde a licenciatura se tornaram uma família sempre unida. Agradeço igualmente à minha família, por todo o apoio e paciência ao longo deste percurso!

Por último, mas não menos importante um especial agradecimento, à Ana que foi sempre compreensível durante todo este processo, apoio-me incondicionalmente e fez com que estivesse sempre motivado, um muito obrigado!

RESUMO

Este estudo analisou a relação entre o risco climático e os índices de ações do sul da Europa, utilizando o *Physical Risk Index* (PRI) e o *Transition Risk Index* (TRI), ambos constituintes do *Climate Risk Index* (CRI), desenvolvido por Bua et al. (2024). Os dados estão compreendidos entre o período de 2016 a 2023, abrangendo eventos climáticos extremos e mudanças na regulamentação ambiental.

Os resultados revelaram que o risco climático influencia os índices de ações, mas de formas distintas. O *Physical Risk Index* (PRI) teve impacto positivo nos índices IBEX35 e FTSEMIB, possivelmente devido à presença de empresas de energia renovável nesses índices, como Iberdrola, Endesa, Naturgy, Siemens Gamesa, Enel e Terna, que se podem beneficiar de eventos climáticos extremos. Por outro lado, o *Transition Risk Index* (TRI), apresentou um impacto negativo nesses mesmos índices, refletindo a aversão dos investidores às incertezas associadas à transição para uma economia de baixo carbono. Essa reação pode ser atribuída à presença de grandes empresas de combustíveis fósseis, como Repsol e Saipem, que enfrentam custos operacionais elevados para adaptação tecnológica.

O facto da Bitcoin e a Ethereum, não representarem diretamente uma empresa, faz com que não se enquadre na economia real, sendo movimentado devido à procura e oferta, e à confiança dos investidores, o que faz com que não se verifique impacto do TRI ou do PRI, embora para a mineração destas criptomoedas exista uma pegada de carbono significativa.

Este estudo contribui para a literatura financeira ao demonstrar a relevância de considerar simultaneamente os riscos climáticos e a volatilidade dos criptoativos na análise dos mercados financeiros. As descobertas destacam a importância de estratégias de redução de risco que incorporem variáveis climáticas e digitais.

Palavras-chave: Risco Climático, Criptomoedas, PRI, TRI, Mercados financeiros, Volatilidade Índices de ações.

ABSTRACT

This study analyzed the relationship between climate risk and stock indices in southern Europe, using the *Physical Risk Index* (PRI) and the *Transition Risk Index* (TRI), both constituents of the *Climate Risk Index* (CRI), developed by Bua et al. al. (2024). The data covers the period from 2016 to 2024, covering extreme weather events and changes in environmental regulations.

The results revealed that climate risk influences stock indices, but in diverse ways. The *Physical Risk Index* (PRI) had a positive impact on the IBEX35 and FTSEMIB indices, possibly due to the presence of renewable energy companies in these indices, such as Iberdrola, Endesa, Naturgy, Siemens Gamesa, Enel and Terna, which can benefit from climate events extremes. On the other hand, the *Transition Risk Index* (TRI) had a negative impact on these same indices, reflecting investors' aversion to the uncertainties associated with the transition to a low-carbon economy. This reaction can be attributed to the presence of large fossil fuel companies, such as Repsol and Saipem, which face high operating costs for technological adaptation.

The fact that Bitcoin and Ethereum do not directly represent a company means that it does not fit into the real economy, being moved due to demand and supply, and investor confidence, which means that there is no impact from the TRI or of PRI, although mining these cryptocurrencies has a significant carbon footprint.

This study contributes to financial literature by demonstrating the relevance of simultaneously considering climate risks and the volatility of crypto assets when analyzing financial markets. The findings highlight the importance of risk reduction strategies that incorporate climate and digital variables.

Keywords: Climate Risk, Cryptocurrencies, PRI, TRI, Financial Markets, Volatility, Stock Indices.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	8
RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUÇÃO	16
2. ENQUADRAMENTO	18
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1. O impacto do risco climática nos mercados financeiros	19
3.1.1. PRI – Physical Risk Index.....	20
3.1.2. TRI – Transition Risk Index.....	21
3.2. Interseção entre risco climático e as criptomoedas.....	23
4. METODOLOGIA	25
4.1. Teste de desfasamentos	25
4.2. Teste de raiz unitária (Augmented Dickey-Fuller)	26
4.3. Modelo MGARCH	27
5. DADOS E DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS	28
5.1. Descrição das variáveis.....	28
5.2. Variáveis dependentes	29
5.3. Variáveis independentes.....	30
6. ANÁLISE DESCRITIVA	32
7. ANÁLISE DE RESULTADOS	34
7.1. Testes estatísticos.....	34
7.1.1. VARSOC.....	34
7.1.2. Teste de raízes unitárias	35
7.2. MGARCH	36
8. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	40
9. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES DO ESTUDO E NOVAS OPORTUNIDADES DE INVESTIGAÇÃO	42
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIA	44

Será que o risco climático e as criptomoedas podem afetar os índices de ações?

ÍNDICE DE FIGURAS

Esta dissertação não contém figuras.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Esta dissertação não contém gráficos.

ÍNDICE TABELAS

Tabela 1 - Lista das variáveis dependentes.....	29
Tabela 2 - Lista das Variáveis Independentes	30
Tabela 3 - Correlações entre Índices de Ações, Criptomoedas e Riscos Climáticos.....	32
Tabela 4 - Seleção de defasagens ótimas com critério SBIC para índices de ações e criptomoedas.....	34
Tabela 5 - Resultados do teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) para estacionaridade dos retornos.....	35
Tabela 6 - Coeficientes do Modelo MGARCH para os índices de ações com o impacto dos Riscos Climáticos	37
Tabela 7 - Coeficientes do Modelo MGARCH para as Criptomoedas com o impacto dos Riscos Financeiros	38
Tabela 8 - Resposta às hipóteses apresentadas no estudo	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADF – Augmented Dickey-Fuller

ATHEX - Greece Stock Index

CCNI – Climate Change News Index

CRI - Climate Risk Indexes

FMI – Fundo Monetário Internacional

FTSEMIB – Italian Stock Index

IBEX - Spain Stock Index

MGARCH - Multivariate Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity

PIGS - Índice de Portugal, Itália, Grécia e Espanha

PRI – Physical Risk Index

PSI – Portuguese Stock Index

SBIC - Schwarz Bayesian Information

TRI - Transition Risk Index

UE – União Europeia

WSJ – The Wall Street Journal

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as questões relacionadas às mudanças climáticas e à sustentabilidade ganharam destaque nos debates globais, com implicações significativas para os mercados financeiros. Os riscos climáticos, sejam físicos ou associados à transição para uma economia de baixo carbono, alteram o comportamento dos investidores e das empresas, o que influencia diretamente a dinâmica dos mercados. Paralelamente, a crescente relevância das criptomoedas, transforma o mercado financeiro, criando desafios e oportunidades para os investidores. Estas dinâmicas combinam fatores ambientais e tecnológicos, tornando fundamental investigar as interações entre eles e os seus efeitos nos mercados tradicionais.

A União Europeia, no âmbito do Pacto Ecológico Europeu, tem liderado esforços globais para enfrentar as mudanças climáticas, estabeleceu metas jurídicas para a redução das emissões de gases com efeito de estufa. Até 2030, a UE tem como objetivo uma redução de pelo menos 55% das emissões líquidas em relação aos níveis de 1990, e pretende alcançar uma redução de 90% até 2040, com a finalidade de chegar à neutralidade climática em 2050. Essas metas, reforçadas pela Lei Europeia do Clima, abrangem setores estratégicos como energia, transportes, agricultura e indústria, e alinham-se ao Acordo de Paris, que visa limitar o aquecimento global a níveis bem abaixo de 2°C, (Ação Climática E Pacto Ecológico, 2023).

O *Physical Risk Index* (PRI) e o *Transition Risk Index* (TRI), têm impactos diferentes nos ativos financeiros. O PRI afeta principalmente ativos ligados a setores dependentes do clima ou localização geográfica, como agricultura, empresas de energia, infraestrutura e imóveis. Empresas nestes setores podem enfrentar danos diretos nos ativos físicos ou custos elevados de recuperação, originando despesas não orçamentadas, muitas das vezes, levando a impactos negativos nos seus retornos.

Por outro lado, o TRI tende a impactar setores que dependem de combustíveis fósseis, como petróleo, gás, transporte e fábricas. Empresas nesses setores podem ter um aumento de custos devido a regulamentações ambientais, desinvestimento, e pressão para adotar tecnologias limpas. Em contrapartida, empresas já alinhadas com a transição, como as de energia renovável, podem ter benefícios.

Como tal, será importante ver o efeito de cada índice desenvolvido por Bua et al. (2024) pois não sabemos de nenhum estudo que se tenha focado no TRI e PRI, sendo que este é uma extensão do estudo “*Hedging Climate Change News*” desenvolvido por Engle et al. (2020), que quantifica o risco climático a partir das notícias sobre mudanças climáticas no *The Wall Street Journal* (WSJ), dando origem ao *Climate Change News Index* (CCNI), onde não apresenta nenhuma separação entre o risco climático de transição TRI e o risco físico climático PRI.

Neste contexto, este estudo explora várias questões que pensamos serem relevantes para a literatura: Será que o PRI afeta positivamente a rendibilidade das ações europeias? Será que o TRI afeta negativamente a rendibilidade das ações europeias? Será que o PRI afeta positivamente a rendibilidade das criptomoedas (Bitcoin e Ethereum)? Será que o TRI afeta negativamente a rendibilidade das criptomoedas (Bitcoin e Ethereum)?

Na secção seguinte o nosso trabalho divide-se em: (1) Introdução; (2) Enquadramento; (3) Revisão de literatura; (4) Metodologia; (5) Dados e descrição das variáveis; (6) Análise descritiva; (7) Análise de resultados; (8) Discussão de conclusões; (9) Referências bibliográficas.

2. ENQUADRAMENTO

A questão a considerar é como o risco climático pode afetar as criptomoedas e os índices de ações. O desempenho dos índices de ações, como o S&P 500, reflete a condição económica de um país ou setor, sendo afetado por diferentes fatores já identificados e, atualmente, por questões ambientais e instabilidade nos mercados digitais.

A instabilidade climática, que inclui eventos como secas, inundações, introduz uma nova forma de imprevisibilidade aos mercados financeiros. Empresas dos setores energético ou agrícola, que dependem fortemente de recursos naturais ou combustíveis fósseis, enfrentam riscos climáticos significativos; as medidas de redução de emissão de CO₂, podem impactar o valor de mercado de diversas indústrias.

O surgimento das criptomoedas gerou um novo tipo de ativo digital que pode ser utilizado como proteção contra incertezas económicas. Ainda assim, as criptomoedas, podem gerar uma certa insegurança pela conexão com os mercados convencionais. O facto de a extração de moedas digitais consumir muita energia gera preocupações ambientais, que podem agravar os impactos da incerteza climática.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. O impacto do risco climática nos mercados financeiros

Nos últimos anos, o risco climático tem-se tornado um tema central nas discussões sobre a sustentabilidade dos mercados financeiros. Stern (2007) argumenta que o risco climático pode gerar instabilidade económica a longo prazo, afetando diretamente o desempenho de indústrias que dependem de recursos naturais e cadeias de fornecimento globais. O estudo de Dietz et al. (2016) sugere que os riscos físicos (eventos climáticos extremos) e os riscos de transição (políticas de mitigação climática) são fatores que contribuem para a incerteza no mercado.

Um estudo particularmente relevante de Bolton e Kacperczyk (2021) destaca que as empresas mais expostas ao risco climático tendem a sofrer maiores impactos negativos em termos de avaliação de ações.

Esta abordagem é corroborada por Krueger, Sautner e Starks (2020), que apontam que os gestores de fundos estão a integrar os riscos climáticos nas suas estratégias de investimento, especialmente à medida que a regulamentação em torno da divulgação de informações sobre sustentabilidade aumenta.

Por outro lado, Khalfaoui et al. (2022) demonstram que o desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis pode mitigar parte dos riscos climáticos, mas alertam para o facto que a transição para uma economia verde trará desafios de curto prazo para setores com alta intensidade de carbono, devido a terem de alocar capital para tecnologias mais ecológicas para continuarem a sua atividade, o que pode impactar os retornos financeiros.

Na mesma linha de pensamento, Barnett et al. (2020) mostram que o aumento das regulamentações climáticas pode gerar uma redistribuição de capital, já que os investidores procuram reduzir a exposição a empresas com elevadas emissões de carbono, o que afeta o desempenho dos índices de ações.

No estudo realizado pelos investigadores Gong et al. (2022) estes ponderam que o impacto das eleições presidenciais dos EUA afeta nas empresas com diferentes níveis de exposição ao risco climático. O estudo revela que empresas com alta exposição ao risco climático têm maior volatilidade de retorno.

3.1.1. PRI – Physical Risk Index

Alguns estudos indicam que os riscos físicos associados às mudanças climáticas têm algum nível de interferência em determinados mercados financeiros. Contudo, as evidências são frequentemente contraditórias e não abrangem os diferentes segmentos do mercado, sendo difícil calcular o verdadeiro impacto do PRI nos mercados financeiros.

Segundo o Fundo Monetário Internacional (FMI), o impacto de grandes desastres nos mercados de ações, como em ações de bancos e de seguradoras, tem sido, de forma geral, modesto ao longo dos últimos 50 anos. Além disso, até 2019, as avaliações das ações não refletiam plenamente os riscos físicos sob cenários de mudanças climáticas (IMF, 2020).

No mercado de crédito, há indícios de que investidores reclamam um prêmio em títulos corporativos que tendem a ter melhor desempenho diante de notícias climáticas negativas (Huynh e Xia, 2020). No entanto, os impactos em mercados de dívida soberana e títulos municipais são mais diversificados. Por exemplo, condições climáticas extremas têm arruinado as condições de financiamento soberano em regiões como o Caribe (Mallucci, 2022).

No caso de títulos municipais nos EUA, alguns estudos sugerem que, desde 2013, títulos emitidos por municípios expostos à elevação do nível do mar têm sido negociados com um pequeno desconto (Goldsmith-Pinkham et al., 2022). Outros estudos, não identificaram prêmio de risco climático nesse mercado (BlackRock Investment Institute, 2019).

No mercado de ações, a resistência dos preços das ações ao aumento da temperatura global tem sido negativa e está a intensificar-se à medida que as temperaturas aumentam (Bansal et al., 2016). Além disso, estudos recentes indicam que o impacto do aumento térmico tem sido calculado de forma robusta nos mercados de dívida corporativa, municipal e de ações desde 2013, embora outros riscos físicos ainda não apresentem evidências claras (Acharya et al., 2022).

No mercado imobiliário, os efeitos dos riscos físicos também são evidenciados, mas de forma inconsistente. Após o furacão Sandy, os preços de propriedades em zonas de inundação em Nova York caíram e permaneceram baixos, mesmo para propriedades não danificadas diretamente pelo evento (Ortega e Taspinar, 2018). De forma similar, imóveis sujeitos ao risco de elevação do nível do mar foram negociados com um desconto médio de 7% (Bernstein et al., 2019).

Em contrapartida, outros estudos não identificaram impacto significativo desse risco nos preços de imobiliário (Murfin e Spiegel, 2020). Além disso, pesquisas indicam que a atenção dos investidores aos riscos climáticos e as suas crenças sobre mudanças climáticas podem influenciar os preços no mercado imobiliário (Giglio et al., 2021b; Baldauf et al., 2020).

3.1.2. TRI – Transition Risk Index

Os riscos de transição representam desafios para empresas que operam em setores com elevadas emissões de carbono. Esses riscos podem reduzir avaliações de mercado, aumentar despesas operacionais e deteriorar balanços patrimoniais, seja pela diminuição do valor ou pela aquisição de ativos que deixam de ter utilidade. Existem evidências que os riscos de transição estão a ser equacionados nos mercados financeiros, mas ainda é incerto se é suficiente para reduzir os riscos de maneira eficaz (Weder di Mauro, 2021).

Bolton e Kacperczyk (2021) descobriram que ações de empresas com mais emissões de CO₂, apresentam retornos mais altos. Estes resultados não conseguem ser explicados pelo tamanho da empresa, market-cap ou qualquer outra métrica financeira, sugerindo que os investidores exigem então um prémio mais alto, para compensar a sua exposição a empresas com alta emissão de carbono.

Num estudo posterior, Bolton e Kacperczyk (2022), utilizaram uma amostra maior, onde confirmaram essas evidências e identificaram que os riscos de transição de curto prazo são mais significativos em países com menor desenvolvimento económico, maior dependência de combustíveis fósseis e sistemas políticos menos inclusivos. Em contrapartida, os riscos de longo prazo são mais intensos em países com políticas climáticas rigorosas. Em mercados de ações europeus, empresas "mais verdes" negociam com prémios mais altos, mas apenas quando são transparentes sobre o seu desempenho ambiental (Alessi et al., 2021).

Estudos também mostram que investidores são sensíveis aos riscos de transição nos mercados de renda fixa. Há evidências de títulos de empresas com menor capacidade de reduzir esses riscos sendo então negociados com desconto (Seltzer et al., 2022). Além disso, empresas com maiores emissões de gases de efeito estufa, apresentam maior risco de crédito. (Capasso et al., 2020; Barth et al., 2022).

Títulos verdes, são frequentemente negociados com prêmios maiores relativamente a títulos similares que não possuem essa designação (Baker et al., 2018; Zerbib, 2019). Esses instrumentos também oferecem benefícios de diversificação sem comprometer os retornos (Fender et al., 2019) e servem como sinalizadores de compromisso ambiental por parte das empresas emissoras (Flammer, 2021).

Após o Acordo de Paris, empresas mais expostas a esses riscos tiveram os seus ratings de crédito mais baixos, especialmente na Europa, onde as expectativas em relação às políticas climáticas são mais rígidas do que nos Estados Unidos (Carbone et al., 2021).

A atenção pública às mudanças climáticas amplifica os impactos dos riscos de transição, pois, empresas com grandes emissões de carbono, apresentam um desempenho inferior em períodos de temperaturas anormalmente altas, especialmente quando a atenção dos investidores está elevada em relação ao clima (Choi et al., 2020), a mesma ideia é reforçada em um estudo de Ilhan et al., (2021). Por outro lado, notícias positivas sobre a transição energética tendem a beneficiar empresas de energias renováveis, aumentando os seus retornos (Batten et al., 2016).

Empresas com grandes emissões de carbono, como empresa petrolíferas estão a começar a equacionar o custo benefício de comprar novos ativos de momento, para a exploração de petróleo, uma vez que a longo prazo pode não ser rentável consoante as leis de transição para uma economia mais verde (Atanasova e Schwartz, 2019).

Entre 2015 e 2020, os investimentos em combustíveis fósseis diminuíram de US\$ 1,3 trilhão para US\$ 750 bilhões, mas os investimentos em energias renováveis não compensaram completamente essa queda, o que cria o risco de escassez de energia e volatilidade nos preços no médio prazo (Americano et al., 2022).

Embora a maioria dos estudos foque no impacto dos riscos de transição em setores de altas emissões, alguns autores alertam para a possibilidade de uma "bolha verde" caso a velocidade ou o alcance da transição sejam superestimados. Esse risco de supervalorização poderia gerar alocações equivocadas de capital e comprometer a trajetória de uma transição sustentável (Borio et al., 2022).

3.2. Interseção entre risco climático e as criptomoedas

As criptomoedas, especialmente a Bitcoin, emergiram como uma nova classe de ativos digitais que têm um impacto significativo nos mercados financeiros globais. Desde a criação da Bitcoin em 2008, por Satoshi Nakamoto, o mercado das criptomoedas cresceu exponencialmente, com milhares de novos criptoativos, como o Ethereum e o Ripple, a trazer inovação ao sistema financeiro tradicional.

A relação entre o impacto ambiental das criptomoedas e a incerteza climática é uma área de estudo relativamente nova. Truby (2018) alerta para o elevado consumo energético associado à mineração de criptomoedas, particularmente da Bitcoin, que utiliza o mecanismo de prova de trabalho (*proof-of-work*). Esse processo consome quantidades massivas de eletricidade, contribuindo para a pegada de carbono global. Em contextos de políticas de mitigação climática mais rigorosas, a mineração de criptomoedas pode ser alvo de regulamentações que limitem o seu crescimento e, por extensão, a sua atratividade como ativo financeiro, o desenvolvimento de alternativas tecnológicas, como o mecanismo de prova de participação (*proof-of-stake*), utilizado pela rede Ethereum, é menos intensivo em termos de energia e poderia atenuar 99% das preocupações ambientais em torno das criptomoedas.

A crescente pressão para reduzir emissões de carbono e cumprir os acordos climáticos, como o Acordo de Paris, pode forçar os governos a introduzir regulamentações mais severas sobre atividades intensivas em energia, como a mineração de criptomoedas. Mora et al. (2018) projetaram que o aumento na pegada de carbono associada à Bitcoin pode levar a um aumento significativo nas temperaturas globais, caso não sejam tomadas medidas corretivas. Esse cenário coloca a sustentabilidade das criptomoedas sob escrutínio crescente e políticas de descarbonização mais rígidas que podem reduzir a viabilidade das criptomoedas como ativos de longo prazo.

Ji et al. (2018) exploram a ideia de que, em cenários de alta incerteza climática, os investidores podem ver as criptomoedas como uma forma de diversificação das suas carteiras, especialmente em setores vulneráveis ao risco climático. Contudo, este uso das criptomoedas em resposta ao risco climático ainda carece de investigação empírica robusta, dada a volatilidade inerente do mercado de criptomoedas.

Stoll Klaaßen e Gallersdörfer (2019), argumentam que a transição para tecnologias de blockchain mais eficientes em termos de energia poderia reduzir significativamente a pegada de carbono do mercado de criptomoedas, tornando-o mais alinhado com os objetivos de sustentabilidade.

De Vries (2019) aponta que a mineração de Bitcoin pode consumir anualmente mais energia que países inteiros, como a Suécia, o que cria pressão sobre os recursos energéticos globais. Esse gasto energético coloca em risco os esforços de descarbonização global e aumenta a probabilidade de regulamentações mais rígidas sobre o setor de mineração de criptomoedas.

Por outro lado, um estudo de Thalhammer et al. (2022), destaca que o impacto climático das criptomoedas pode variar amplamente com base no modelo de regras do governo no local onde ocorre a mineração. Regiões que utilizam fontes de energia predominantemente renováveis apresentam uma pegada de carbono reduzida em comparação com aquelas que dependem de combustíveis fósseis.

Por fim, na busca por sustentabilidade, a adoção de criptomoedas verdes pode tornar-se um fator estratégico. Estudos de Sedlmeir et al. (2021) apontam que tecnologias de blockchain com foco em eficiência energética são cruciais para alinhar o setor às metas climáticas globais. Isso reforça a necessidade de um equilíbrio entre inovação tecnológica e regulação ambiental para garantir a viabilidade das criptomoedas como ativos sustentáveis. Segundo a literatura achamos pertinente formular as seguintes hipóteses de investigação:

H1: O PRI afeta positivamente os retornos dos índices de ações?

H2: O TRI afeta negativamente os retornos dos índices de ações?

H3: O PRI afeta negativamente o retorno das criptomoedas?

H4: O TRI afeta negativamente o retorno das criptomoedas?

4. METODOLOGIA

O principal objetivo deste estudo é analisar o impacto do risco climático dividido pelo PRI e TRI, nas criptomoedas e nos índices de ações. Foram utilizadas técnicas de econometria, processadas no software STATA, para modelar as relações entre os índices de ações (PSI20, IBEX35, FTSEMIB, ATHEX), preços de criptomoedas (Bitcoin e Ethereum) e os índices de risco climático (*TransitionRiskIndex* e *PhysicalRiskIndex*).

4.1. Teste de desfasamentos

Primeiramente, utilizou-se o teste de desfasamentos (Varsoc), através do qual foram ajustados os retornos diários dos índices de ações e do preço das criptomoedas como variáveis endógenas e os índices de risco climático com potenciais fatores exógenos.

A fórmula geral de um modelo VAR de ordem p pode ser expressa por:

$$Y_t = c + A_1 Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + \dots + A_p Y_{t-p} + \epsilon_t$$

Onde:

- Y_t é o vetor de variáveis endógenas (neste caso, os índices de ações e criptomoedas);
- c é o vetor de constantes;
- A_i são matrizes de coeficientes estimados para as defasagens;
- ϵ_t é o vetor de termos de erro.

Sims (1980) introduziu este modelo como alternativa aos modelos estruturais de séries temporais, que exigiam uma estrutura exógena específica para definir a relação entre variáveis. Com este modelo deixaram de se colocar restrições, todas as variáveis são tratadas como endógenas, o que permite que os dados tenham interações dinâmicas entre si.

4.2. Teste de raiz unitária (Augmented Dickey-Fuller)

Utilizou-se a metodologia de Dickey e Fuller (1979) para verificar a estacionariedade das variáveis, pois séries temporárias não estacionárias podem levar a resultados falsos em modelos econométricos, como o VAR. Segundo este método, uma série é considerada estacionária quando as suas propriedades estatísticas, como a média e a variância, não se alteram ao longo do tempo. O teste ADF avalia então se a série possui uma raiz unitária, o que significa que esta é não estacionária.

- **H₀**: A série possui raiz unitária (não estacionária);
- **H₁**: A série é estacionária.

A equação geral para o teste ADF é dada por:

- $$\Delta Y_t = \alpha + \beta t + \gamma Y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta Y_{t-i} - i + \epsilon_t$$

Onde:

- ΔY_t é a diferença da série no tempo;
- α é o termo constante;
- βt é o termo de tendência (opcional);
- Y_{t-1} é o coeficiente da defasagem da variável dependente;
- ϵ_t é o termo de erro.

A execução deste método no estudo foi crucial para assegurar a precisão dos dados, uma vez que a não estacionariedade poderia distorcer a relação dinâmica entre as variáveis.

4.3. Modelo MGARCH

Este modelo foi desenvolvido para modelar a volatilidade conjunta de várias séries temporais, permitindo observar a dinâmica de dependência entre elas. O modelo foi introduzido por Bollerslev (1986), como uma extensão do método ARCH de Engle (1982), que desenvolvimento econométrico, revolucionou a modelagem de volatilidade ao permitir que a variância condicional dependa de valores passados.

Em concreto, neste estudo, o modelo MGARCH foi utilizado para se entender como a volatilidade de um ativo pode ser influenciada pela volatilidade de outros ativos, ao longo do tempo. O modelo é útil neste estudo, pois permite analisar como as criptomoedas (BTC e ETH) e os riscos climáticos (TRI e PSI), afetam a volatilidade dos índices de ações (IBEX35, PSI20, FTSEMIB, ATHEX).

A fórmula geral do modelo é dada por:

$$H_t = D_t * R_t * D_t$$

Onde:

- H_t é a matriz de covariância condicional;
- D_t é uma matriz diagonal contendo os desvios padrão condicionais de cada ativo no tempo;
- R_t é a matriz de correlação condicional entre os ativos e os índices de risco climático no tempo, modelando como essas correlações variam ao longo do tempo.

5. DADOS E DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS

O estudo pretende analisar se o risco climático está relacionado com os mercados financeiros e as criptomoedas. Para alcançar esse objetivo, a base de dados é composta por séries temporais diárias de vários índices de ações da zona Euro e das criptomoedas Bitcoin e Ethereum. Ainda estão presentes os dados do índice de risco climático.

Os índices de ações considerados no estudo correspondem aos principais índices de ações dos países PIGS (Portugal, Itália, Grécia e Espanha), que representam economias da Zona Euro, com características semelhantes em termos de estrutura económica e vulnerabilidade financeira.

5.1. Descrição das variáveis

Os índices analisados são os seguintes:

- **Retorno_ATHX20:** Índice de referência da bolsa de valores de Atenas, representando as 20 maiores empresas cotadas na Grécia.
- **Retorno_FTSEMIB:** Principal índice de ações da bolsa de valores de Milão, que inclui as 40 maiores empresas por capitalização de mercado na Itália.
- **Retorno_IBEX35:** Índice representativo da bolsa de Madrid, composto pelas 35 ações mais líquidas da Espanha.
- **Retorno_PSI20:** Índice principal da bolsa de Lisboa, que representa as 20 maiores empresas cotadas em Portugal.

Os dados destes índices foram extraídos diariamente, abrangendo o período de 8 de abril de 2016 a 22 de dezembro de 2023, através do site *Investing.com*. A base de dados inclui também os valores diários da Bitcoin e do Ethereum. Estas criptomoedas foram selecionadas para o estudo devido à sua crescente popularidade como ativo financeiro.

Os dados destas criptomoedas abrangem o mesmo período e foram igualmente recolhidos do site *Investing.com*. Esta série temporal será utilizada para avaliar a correlação entre o mercado de criptomoedas e os mercados de ações PIGS, especialmente em contextos de incerteza climática.

Para medir o risco climático, utilizou-se o Índice de Risco Climático (CRI), desenvolvido para quantificar os riscos associados à transição para uma economia mais verde, bem como os riscos físicos relacionados a eventos climáticos. Os dados foram recolhidos do site <https://www.policyuncertainty.com>.

5.2. Variáveis dependentes

As variáveis dependentes são aquelas cujo valor depende de outras variáveis.

Tabela 1 - Lista das variáveis dependentes

Variável	Cálculo	Fonte
PSI20_Retorno	Retorno do PSI20	Investing
IBEX35_Retorno	Retorno do IBEX35	Investing
FTSEMIB_Retorno	Retorno do FTSEMIB	Investing
ATHEX_Retorno	Retorno do ATHEX	Investing
BTC_Retorno	Retorno do BTC	Investing
ETH_Retorno	Retorno do ETH	Investing

Para calcular o retorno diário de cada uma das variáveis, utilizou-se a fórmula seguinte:

$$R_t = \ln(P_t / (P_{t-1}))$$

Onde:

- R_t : Retorno diário no dia t ;
- P_t : Preço de fecho do ativo no dia t ;
- P_{t-1} : Preço de fecho do ativo no dia anterior ($t-1$);
- $\ln$: Logaritmo natural.

(Campbell et al., 2012), estudou o uso do logaritmo para calcular retornos em séries de ativos financeiros, não sendo possível identificar quem inventou a fórmula, pois autores como Hull, (2018) e TSAY, (2010).

5.3. Variáveis independentes

Uma variável independente é aquela que não depende de nenhuma outra variável, ou seja, o seu valor ou comportamento não é alterado em função de outra variável.

Engle et al. (2020) desenvolveu um índice para quantificar a preocupação com os riscos climáticos usando como metodologia a captura de notícias que referenciassem os riscos climáticos.

Como variável independente do estudo, foi utilizado o Índice de Risco Climático (CRI), constituído por dois subíndices TRI (*Transition Risk Index*) e PRI (*Physical Risk Index*), desenvolvido por, Bua et al (2024) estes índices foram constituído para refletir os riscos físicos climáticos e os riscos de transição climática, aproveitando a metodologia anteriormente utilizada, este desenvolvimento permite uma análise mais detalhada do impacto financeiro das mudanças climáticas nos mercados europeus, utilizando palavras específicas para a elaboração de cada tipo de risco.

A base de dados que permitiu constituir estes índices, foi a análise de notícias da Reuters com foco na região europeia, abrangendo documentos que discutem tanto riscos físicos como de transição climática, foram excluídos da amostra documentos com mais de 5000 palavras de modo que fosse mais fácil de gerir a amostra. A angariação de documentos foi realizada para o período de 2015 a 2019.

O TRI, relaciona os riscos associados à transição para uma economia mais verde, incluindo fatores como regulamentação ambiental e as mudanças tecnológica.

O PRI quantifica os riscos físicos associados às mudanças climáticas, incluindo eventos extremos como inundações, secas, tempestades e outras catástrofes naturais. Este índice analisa, então, o impacto direto destes eventos sobre as empresas e economia.

Tabela 2 - Lista das Variáveis Independentes

Variável	Cálculo	Fonte
TRI	<i>Transition Risk Index</i>	https://doi.org/10.1080/1351847X.2024.2355103
PRI	<i>Physical Risk Index</i>	https://doi.org/10.1080/1351847X.2024.2355103

As fórmulas utilizadas para construir o Índice de Risco Físico (PRI) e o Índice de Risco de Transição (TRI) são baseadas em processos autorregressivos de ordem 1 (AR1)

Fórmula do PRI (*Physical Risk Index*)

$$Concern(t, PR) = cPR + \phi PR * Concern((t - 1), PR) + PRI(t, PR)$$

Onde:

- *Concern (t, PR)*: Nível de preocupação com o risco físico no tempo t.
- *cPR*: Termo constante que representa a média do nível de preocupação com o risco físico.
- *φPR*: Coeficiente que mede a persistência da preocupação com o risco físico.
- *Concern ((t-1), PR)*: Nível de preocupação com o risco físico no tempo t-1.
- *PRI (t, PR)*: Inovação no nível de preocupação com o risco físico no tempo t.

Fórmula do TRI (*Transition Risk Index*)

$$Concern(t, TR) = cTR + \phi TR * Concern((t - 1), TR) + TRI(t, TR)$$

Onde:

- *Concern (t, TR)*: Nível de preocupação com o risco de transição no tempo t.
- *cTR*: Termo constante que representa a média do nível de preocupação com o risco transição.
- *φTR*: Coeficiente que mede a persistência da preocupação com o risco de transição.
- *Concern((t-1), TR)*: Nível de preocupação com o risco de transição no tempo t-1.
- *TRI (t, TR)*: Inovação no nível de preocupação com o risco de transição no tempo t.

6. ANÁLISE DESCRITIVA

Com base na amostra definida, procedeu-se à análise dos resultados apresentados pelo índice de risco climático em relação ao mercado de ações e às criptomoedas.

Para complementar este estudo era pertinente compreender e analisar a correlação de todas as variáveis, desenvolvendo-se uma análise focada nas correlações entre os retornos dos índices de ações estudados na literatura, as criptomoedas Bitcoin e Ethereum, e o índice de risco climático elaborado pelas componentes TRI e PRI.

Os coeficientes de correlação obtidos revelam como os retornos diários dos índices de ações europeus (PSI20, IBEX35, FTSEMIB e ATHEX) estão correlacionados com as criptomoedas (Bitcoin e Ethereum) e com os índices de risco climático (*Transition Risk Index* - TRI e *Physical Risk Index* - PRI). Esta análise ajuda a compreender a interdependência existente entre os mercados de ações e criptomoedas, além de equacionar o impacto dos riscos climáticos. A tabela 3 retrata todas as correlações existentes entre estas variáveis em estudo.

Tabela 3 - Correlações entre Índices de Ações, Criptomoedas e Riscos Climáticos

Variáveis	PSI20	IBEX35	FTSEMIB	ETH	BTC	ATHEX	Transition	Physical
PSI20	1.0000							
IBEX35	0.7683*	1.0000						
	0.0000							
FTSEMIB	0.7316*	0.8741*	1.0000					
	0.0000	0.0000						
ETH	0.1590*	0.1552*	0.1876*	1.0000				
	0.0000	0.0000	0.0000					
BTC	0.1619*	0.1690*	0.1984*	0.6834*	1.0000			
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000				
ATHEX	0.5255*	0.5907*	0.5840*	0.1463*	0.1432*	1.0000		
	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000			
Transition	-0.0345	-0.0361	-0.0424*	-0.0163	-0.0224	-0.0302	1.0000	
	0.129	0.1124	0.0623	0.474	0.3238	0.1834		
Physical	-0.0031	0.0127	0.0048	0.0128	0.0015	-0.0125	0.3969*	1.0000
	0.8924	0.5759	0.8322	0.5747	0.9474	0.581	0.000	

Nota: Nível de significância: * $p < 0.1$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$

Com os dados da tabela acima é possível observar que existe uma correlação positiva muito forte entre os índices de ações, mas em especial entre o índice IBEX35 e o FTSEMIB (0.8741*), o que sugere uma interdependência entre estes mercados, esta foi a maior correlação, de todos os índices estudados. O PSI20 também apresenta correlações positivas com o IBEX35 (0.7683*) e o FTSEMIB (0.7316*); isto revela que choques em um destes índices podem necessariamente propagar-se aos outros. De todos os índices de ações, o ATHEX é o que apresenta menor correlação com os restantes índices, o que indica que a Grécia não está tão interligada como Portugal, Espanha e Itália.

As criptomoedas, têm correlações positivas com os índices de ações. Por exemplo, a Bitcoin apresenta uma correlação de (0.1984*) com o FTSEMIB e (0.1690*) com o IBEX35. Esses resultados demonstram que as criptomoedas podem influenciar a volatilidade dos índices de ações, embora o impacto seja significativamente mais moderado, comparado com a interdependência entre os próprios índices de ações.

Como era de esperar, existe uma correlação positiva entre a Bitcoin e o Ethereum (0.6834*) estas criptomoedas têm um historial de variações semelhantes. Isto revela que choques no mercado de uma criptomoeda podem impactar fortemente a outra.

O *Transition Risk Index* (TRI) tem uma correlação negativa e significativa com o FTSEMIB (-0.0424*); esta correlação demonstra que a incerteza relacionada com a transição para uma economia de baixo carbono pode afetar negativamente o índice de ações de Itália. Todos as outras variáveis em análise apresentaram valores negativos, embora não sejam considerados valores com significância.

O *Physical Risk Index* (PRI) apresenta uma correlação positiva e significativa com o Transition Risk Index (0.3969*), significando que ambos os tipos de risco climático estão inter-relacionados. Portanto, é visível que o impacto direto dos índices de risco climático sobre os índices de ações e as criptomoedas não é significativo, exceto para a correlação negativa com o FTSEMIB.

Por fim, é possível compreender que as correlações mais fortes são entre os índices de ações europeus, o que reflete a interdependência dos mercados financeiros na Europa. As criptomoedas têm uma correlação positiva com os índices de ações, sugerindo que a sua volatilidade pode ter um impacto, mas menor, nos mercados de ações. Os riscos climáticos, representados pelos índices TRI e PRI, mostram uma correlação interna significativa, mas os efeitos diretos sobre os índices de ações e criptomoedas são, em geral, insignificantes.

7. ANÁLISE DE RESULTADOS

7.1. Testes estatísticos

7.1.1. VARSOC

Realizou-se de seguida a seleção de defasagens através dos critérios de seleção de defasagem (VARSOC), conforme apresentado na Tabela 4. Apenas foi tido em conta para análise de resultados o critério, *Schwarz Bayesian Information Criterion* (SBIC). Este critério ajuda a determinar quantos períodos anteriores (defasagens) devem ser incluídos nos modelos VAR para capturar a dinâmica temporal dos retornos de cada variável.

Tabela 4 - Seleção de defasagens ótimas com critério SBIC para índices de ações e criptomoedas

lag	PSI20 Retorno	IBEX35 Retorno	ATHEX Retorno	FTSEMIB Retorno	BTC Retorno	ETH Retorno
0	-6.42151*	-6.18728*	-5.59858*	-5.80325	-3.71196	-2.92928
1	-6.4086	-6.18045	-5.58406	-5.82594*	-3.74089*	-2.93393*
2	-6.395	-6.16454	-5.57172	-5.80833	-3.72621	-2.91643
3	-6.37746	-6.14819	-5.55449	-5.79093	-3.71006	-2.89907
4	-6.36623	-6.13185	-5.53915	-5.77798	-3.69573	-2.88445

Nota: Nível de significância: * $p < 0.1$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$

Os resultados mostraram que, para as variáveis, PSI20, IBEX35 e ATHEX o critério sugere que zero defasagens são suficientes, o que indica que estes mercados não demonstram uma forte dependência dos retornos passados para prever valores futuros.

Por outro lado, para o índice FTSEMIB e as criptomoedas Bitcoin e Ethereum, a inclusão de uma defasagem no modelo VAR oferece o melhor ajuste, isto pode dever-se ao facto de estes índices e criptomoedas apresentarem dependência dos retornos passados para prever valores futuros.

O lag indica quantos períodos, são utilizados para prever a variável endógena do modelo, já o SBIC é uma métrica que estima o erro de previsão de um modelo VAR para cada defasagem. Quanto menor o valor de SBIC, melhor a capacidade de previsão do modelo.

7.1.2. Teste de raízes unitárias

Para garantir que as séries temporais utilizadas no estudo fossem adequadas para modelagem econométrica, como o VAR ou MGARCH, realizou-se o Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), conforme descrito por Dickey e Fuller (1979). O objetivo deste teste é verificar se as séries possuem uma raiz unitária, o que indicaria não estacionaridade. As séries não estacionárias podem levar a estatísticas incorretas, como regressões espúrias, comprometendo a validade dos modelos estimados.

Segundo a literatura, uma série é considerada estacionária quando as propriedades estatísticas, como média e variância, permanecem constantes ao longo do tempo. No presente estudo, o teste ADF foi aplicado aos retornos dos índices de ações (PSI20, IBEX35, FTSE MIB, ATHEX) e às criptomoedas Bitcoin e Ethereum, além dos índices de risco climático *Physical Risk Index* (PRI) e *Transition Risk Index* (TRI).

Tabela 5 - Resultados do teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) para estacionaridade dos retornos

Variáveis	Test Statistic
PSI20_Retorno	-22.578***
IBEX35_Retorno	-21.499***
FTSEMIB_Retorno	-22.737***
ATHEX_Retorno	-22.828***
BTC_Retorno	-25.628***
ETH_Retorno	-26.678***
TRI_Retorno	-23.871***
PRI_Retorno	-25.123***

Os resultados do teste ADF, apresentados na Tabela 5, indicam que todas as séries são estacionárias em nível, o que permite rejeitar a existência de raiz unitária e concluir que as séries são adequadas para a modelagem econométrica. Este procedimento foi fundamental para garantir que as inferências dos modelos fossem robustas e não fossem afetadas por problemas de não estacionaridade.

7.2. MGARCH

Para uma análise mais detalhada, realizou-se uma análise de regressão multivariada utilizando o modelo MGARCH (*Multivariate Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*), aplicado aos retornos dos índices de ações (PSI20, IBEX35, FTSE MIB, ATHEX) e das criptomoedas Bitcoin e Ethereum. O objetivo foi avaliar a relação entre a rentabilidade destes ativos e os riscos climáticos, medidos pelos índices *Physical Risk Index* (PRI) e *Transition Risk Index* (TRI).

De acordo com Engle (2002), o modelo MGARCH é utilizado para capturar não apenas a volatilidade condicional individual de cada ativo ao longo do tempo, mas também para modelar a dependência dinâmica entre os ativos financeiros, permitindo observar como a volatilidade de um ativo, como a Bitcoin, pode influenciar a volatilidade de um índice de ações, como o IBEX35.

Neste estudo, os retornos diários dos índices de ações e das criptomoedas foram modelados para examinar o impacto do risco climática sobre os mercados financeiros europeus. Tal como descrito na literatura, a volatilidade condicional foi capturada através dos coeficientes ARCH e GARCH. O coeficiente ARCH reflete a sensibilidade da volatilidade a choques passados nos retornos, enquanto o coeficiente GARCH capta a persistência da volatilidade ao longo do tempo.

Adicionalmente, foram incluídas as variáveis de risco climático no modelo, nomeadamente o Physical Risk Index (PRI) e o Transition Risk Index (TRI). O PRI mede o impacto de eventos climáticos extremos, como inundações e secas, enquanto o TRI avalia os riscos associados à transição para uma economia de baixo carbono. Estes riscos foram testados para verificar sua influência nas volatilidades condicionais dos índices de ações, conforme apresentado na tabela 6.

Tabela 6 - Coeficientes do Modelo MGARCH para os índices de ações com o impacto dos Riscos Climáticos

Variáveis	PSI20_Retorno	IBEX35_Retorno	FTSEMIB_Retorno	ATHEX_Retorno
PSI20Fecho_R				
L1.	0.7563***	-	-	-
PhysicalRi~l	-0.0108	-	-	-
Transition~l	-0.0052	-	-	-
_cons	-0.0001	-	-	-
ARCH_PSI20~R				
arch	-	-	-	-
L1.	0.6533***	-	-	-
garch	-	-	-	-
L1.	0.3741***	-	-	-
_cons	0.0000**	-	-	-
IBEX35_Rfe~o				
L1.	-	-0.0977***	-	-
PhysicalRi~l	-	0.0377***	-	-
Transition~l	-	-0.0257**	-	-
_cons	-	0.0003	-	-
ARCH_IBEX3~o				
arch	-	-	-	-
L1.	-	0.4452***	-	-
garch	-	-	-	-
L1.	-	0.4783***	-	-
_cons	-	0.0000**	-	-
FTSEMIB_Rf~o				
L1.	-	-	-0.0922***	-
PhysicalRi~l	-	-	-	-
Transition~l	-	-	0.0298**	-
_cons	-	-	-0.0344**	-
			0.0009***	-
ARCH_FTSEM~o				
arch	-	-	-	-
L1.	-	-	0.2916***	-
garch	-	-	-	-
L1.	-	-	1.0260***	-
_cons	-	-	-0.0001**	-
ATHEX_Rfecho				
L1.	-	-	-	-0.0913***
PhysicalRi~l	-	-	-	0.001
Transition~l	-	-	-	-0.0062
_cons	-	-	-	0.0006*
ARCH_ATHEX_R~o				
arch	-	-	-	-
L1.	-	-	-	0.2522***
garch	-	-	-	-
L1.	-	-	-	1.1066***
_cons	-	-	-	-0.0001*

Nota: Nível de significância: * $p < 0.1$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$

Será que o risco climático e as criptomoedas podem afetar os índices de ações?

Tabela 7 - Coeficientes do Modelo MGARCH para as Criptomoedas com o impacto dos Riscos Financeiros

Variáveis	BTC_Retorno	ETH_Retorno
BTC_Rfecho		
BTC_Rfecho	-	-
L1.	-0.0092	-
Transition~l	0.01	-
_cons	0.0008	-
ARCH_BTC_R~o		
arch	-	-
L1.	0.0853***	-
garch	-	-
L1.	0.2519	-
_cons	0.0011	-
ETH_Rfecho		
ETH_Rfecho	-	-
L1.	-	0.0510*
PhysicalRi~l	-	0.0659
Transition~l	-	-0.0643
_cons	-	0
ARCH_ETH~o		
arch	-	-
L1.	-	0.1773***
garch	-	-
L1.	-	-0.097
_cons	-	0.0029***

Nota: Nível de significância: * $p < 0.1$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$

A tabela 6, resume os resultados do modelo MGARCH aplicado ao retorno dos índices, PSI-20, IBEX-35, FTSE MIB, ATHEX, enquanto a tabela 7 apresenta um resumo dos resultados pelo mesmo modelo, mas para as criptomoedas em estudo, Bitcoin e Ethereum.

Nestas tabelas estão expressos os coeficientes que indicam a magnitude e a significância do impacto dos riscos climáticos TRI e PRI nos retornos dos índices de ações e das criptomoedas. Estes resultados são cruciais para compreender como a volatilidade dos mercados financeiros e das criptomoedas, pode ser ou não, influenciada por fatores externos, como o risco climático.

L1. Retorno: A defasagem do próprio retorno (L1) é significativa para todos os índices, exceto para a Bitcoin. Para o PSI20 e o FTSEMIB o coeficiente é positivo e altamente significativo ($p < 0.01$), o que demonstra uma autocorrelação positiva nos retornos para a criptomoeda Ethereum existe uma autocorrelação positiva nos retornos, mas com menos significância ($p < 0.1$). Por outro lado, para o IBEX35, e ATHEX, a autocorrelação é negativa, o que indica que retornos passados impactam negativamente os retornos presentes ($p < 0.01$).

Physical Risk Index (PRI): O Physical Risk Index tem um impacto positivo e significativo sobre o IBEX35 ($p < 0.01$) e o FTSEMIB ($p < 0.05$), sugerindo que eventos climáticos extremos podem ter um impacto positivo nestes mercados. Por outro lado, não se verificou um impacto significativo no PSI20, ATHEX e Ethereum; para a Bitcoin não constam valores.

Transition Risk Index (TRI): O Transition Risk Index tem um impacto negativo significativo no IBEX35 e FTSEMIB, ambos com ($p < 0.05$), sugerindo que os riscos associados à transição para uma economia de baixo carbono são percebidos negativamente por esses mercados. Para os restantes índices apresenta valores negativos, mas sem significância.

ARCH: Este parâmetro é altamente significativo, para todos os índices e criptomoedas estudadas ($p < 0.01$), o que indica que os choques passados têm uma influência significativa sobre a volatilidade atual dos retornos.

GARCH: O GARCH apresenta um valor positivo significativo em todos os índices de ações estudados, mostrando uma maior relevância para os índices FTSEMIB e ATHEX, o que indica uma persistência da volatilidade ao longo do tempo, já relativamente às criptomoedas Bitcoin e Ethereum, não se demonstrou qualquer valor significativo.

8. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os resultados apresentados indicam que tanto o risco climático quanto a volatilidade das criptomoedas exercem uma influência significativa, embora diferenciada, nos índices de ações analisados para os países PIGS (Portugal, Itália, Grécia e Espanha). A aplicação do modelo MGARCH revelou que existe uma correlação substancial entre a volatilidade dos índices de ações e as criptomoedas, sendo que esta relação varia conforme a natureza do risco climático em consideração, o *Physical Risk Index* (PRI) e o *Transition Risk Index* (TRI).

Os coeficientes ARCH e GARCH mostram que a volatilidade condicional é significativamente influenciada por choques passados, reforçando que o histórico de flutuações contribui para a persistência da volatilidade atual nos retornos dos ativos financeiros. Esta persistência é particularmente elevada nos índices de ações FTSEMIB e ATHEX, evidenciando que os mercados de ações italianos e gregos são mais suscetíveis a alterações derivadas de eventos extremos e choques financeiros, incluindo mudanças nas políticas ambientais e a volatilidade das criptomoedas.

Ao nível do PRI, observou-se que eventos climáticos extremos afetam positivamente os retornos dos índices de ações IBEX35 e FTSEMIB, sugerindo que, em períodos de incerteza climática, os investidores podem reagir ao risco físico com estratégias que protegem o valor dos ativos nesses mercados, este efeito pode também ser devido à presença de empresas de energias renováveis, com grande capitalização e peso nestes 2 índices, como a Iberdrola, Endesa, Naturgy, Siemens Gamesa, Enel e Terna, que se podem beneficiar de eventos climáticos extremos.

O TRI, por sua vez, mostrou impacto negativo sobre os retornos do IBEX35 e FTSEMIB, o que sugere que as incertezas associadas à transição para uma economia de baixo carbono são percebidas com cautela pelos investidores, afetando de forma adversa os índices de ações relacionado, este resultado pode dever-se ao facto de existir grandes empresas de combustíveis fósseis, como a Repsol e a Saipem, que enfrentam custo operacionais elevados para a adaptação de tecnologias mais ecológicas, o que pode apresentar gastos não orçamentados para conseguirem continuar a sua atividade, que por conseguinte irá originar resultados abaixo do esperado, podendo criar apreensão por parte dos investidores.

No caso das criptomoedas, os dados sugerem uma correlação positiva, entre a Bitcoin e o Ethereum com os índices de ações europeus. A análise de correlação revelou que a Bitcoin apresenta uma relação mais forte com o índice FTSEMIB, indicando que em momentos de maior incerteza financeira, a Bitcoin atua como um ativo que pode intensificar ou refletir a volatilidade observada no mercado italiano.

Outro ponto de destaque é a correlação positiva significativa entre o PRI e o TRI, o que sugere uma interdependência entre os riscos físicos e de transição. Isso indica que, para mercados financeiros que operam em contextos de risco climático elevado, é importante considerar os efeitos combinados desses dois tipos de risco. Dessa forma, o impacto dos riscos climáticos sobre os índices de ações não pode ser avaliado isoladamente, pois há uma influência mútua entre os riscos físicos e os riscos associados à transição para práticas mais sustentáveis.

Esses achados corroboram com a literatura que destaca a interação entre os fatores climáticos e financeiros, e apontam para a necessidade de estratégias de mitigação de risco que considerem tanto as mudanças climáticas quanto a volatilidade dos criptoativos.

Tabela 8 - Resposta às hipóteses apresentadas no estudo

Hipótese	Resultado
H1: O PRI afeta positivamente os retornos dos índices de ações?	Aceitamos parcialmente a hipótese
H2: O TRI afeta negativamente os retornos dos índices de ações?	Aceita parcialmente a hipótese
H3: O PRI afeta negativamente o retorno das criptomoedas?	Hipótese nula
H4: O TRI afeta negativamente o retorno das criptomoedas?	Hipótese nula

9. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES DO ESTUDO E NOVAS OPORTUNIDADES DE INVESTIGAÇÃO

Este estudo conclui que os riscos climáticos têm efeitos significativos, sobre alguns dos índices constituintes do grupo de ações do sul da europa (PIGS), quanto às criptomoedas poderá vir a ter efeitos significativos caso a mineração de Bitcoin produza emissões de carbono a larga escala, como já tem feito pelo que consta na revisão da literatura.

Em primeiro lugar, o impacto positivo do *Physical Risk Index* (PRI) nos retornos dos índices IBEX35 e FTSEMIB sugere que eventos climáticos extremos podem, em determinadas condições, influenciar de forma benéfica esses mercados, possivelmente pela realocação estratégica dos investimentos em setores mais resilientes ou menos expostos a esses riscos, ou então pelo facto de empresas de energia renováveis se conseguirem beneficiar com eventos climáticos extremos, como a produção de energia eólica quando existe grandes tempestades, ou a captação de luz solar para produção de energia fotovoltaica durante períodos calor extremo.

Por outro lado, o *Transition Risk Index* (TRI) demonstrou ter um impacto negativo sobre os retornos do IBEX35 e FTSEMIB, destacando a cautela dos investidores em relação às incertezas na transição para uma economia mais verde. Esse resultado aponta que as mudanças em políticas de redução de emissões e as iniciativas para a sustentabilidade podem ser percebidas pelos investidores como fatores de risco financeiro que afetam a valorização dos ativos, fazendo com que ativos fixos de exploração petrolífera, por exemplo, tenham de parar a sua atividade e serem substituídos por equipamentos mais ecológicos, o que tem gastos operacionais que pode impactar diretamente o retorno, especialmente em setores mais vulneráveis às pressões ambientais e regulamentares, como fábricas, transportadoras e empresas de combustíveis fósseis.

As criptomoedas, particularmente a Bitcoin e o Ethereum, apresentaram correlações positivas com os índices de ações, a maior correlação observada foi entre a Bitcoin e o índice FTSEMIB ressalta a possibilidade de a criptomoeda refletir ou intensificar a volatilidade de mercados tradicionais, sobretudo em contextos de crises ou mudanças económicas bruscas.

Adicionalmente, a forte interdependência entre os índices PRI e TRI indica que os riscos físico e de transição climática são complementares, sugerindo que ambos devem ser considerados em conjunto para uma compreensão mais completa dos impactos climáticos sobre os mercados financeiros. Estes resultados destacam a importância de avaliar como diferentes dimensões do risco climático afetam simultaneamente os índices de ações, tornando clara a necessidade de estratégias de investimento que incorporem uma visão integrada desses riscos. Apesar das contribuições desta pesquisa, existem algumas limitações que devem ser consideradas:

Primeiramente, o estudo está restrito aos índices de ações PIGS (Portugal, Itália, Grécia e Espanha), o que limita a generalização dos resultados para outros mercados globais, como os Estados Unidos. Assim, uma investigação futura que inclua mercados de outras regiões poderia enriquecer o entendimento da interação entre esses fatores.

Outra limitação reside no período analisado, de 2016 a 2023, que, embora abrangente, pode não captar adequadamente as variações de longo prazo nos impactos do risco climático. Eventos climáticos extremos ou mudanças significativas em regulamentações ambientais podem ter efeitos que se manifestam ao longo de períodos mais extensos.

No que se refere às variáveis climáticas, o estudo focou-se nos índices PRI e TRI para mensurar o risco climático, embora sejam indicadores úteis, pode-se incorporar outras métricas climáticas, como a intensidade de emissão de CO₂ das empresas dos índices de ações, poderia oferecer uma visão mais completa dos impactos ambientais sobre os mercados financeiros.

Por fim, uma possível extensão do estudo poderia incluir outras classes de criptoativos além da Bitcoin e do Ethereum, uma vez que o mercado de criptomoedas está em rápida expansão, com ativos digitais que possuem características distintas. Investigar o impacto de uma gama mais ampla de criptoativos, especialmente aqueles com menor pegada de carbono, pode revelar se há diferenças significativas entre esses ativos em relação ao risco climático.

Assim, esta pesquisa abre caminho para novas investigações que abordem as limitações aqui apontadas, contribuindo para um entendimento mais profundo sobre como o risco climático pode influenciar, a volatilidade dos criptoativos e a estabilidade dos mercados financeiros a longo prazo.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIA

- Ação climática e Pacto Ecológico. (2023). Comissão europeia. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/climate-action-and-green-deal_pt
- Acharya, V, T Johnson, S Sundaresan and T Tomunen (2022): “Is physical climate risk priced? Evidence from regional variation in exposure to heat stress,” unpublished working paper, July. <https://shre.ink/gnhv>
- Alessi, L, E Ossola and R Panzica (2021): “What greenium matters in the stock market? The role of greenhouse gas emissions and environmental disclosures”, *Journal of Financial Stability*, vol 54, June, <https://doi.org/10.1016/j.jfs.2021.100869>.
- Americano, A, J Johal and C Upper (2022): “The energy transition: where we are, who will gain, and who will lose”, unpublished mimeo.
- Atanasova, C and E Schwartz (2019): “Stranded fossil fuel reserves and firm value”, *NBER Working Papers*, no 26497, November, www.nber.org/papers/w26497
- Baker, M, D Bergstresser, G Serafeim and J Wurgler (2018): “Financing the response to climate change: the pricing and ownership of US green bonds”, *NBER Working Papers*, no 25194, October, www.nber.org/papers/w25194
- Baldauf, M, L Garlappi and C Yannelis (2020): “Does climate change affect real estate prices? Only if you believe in it”, *The Review of Financial Studies*, vol 33, no 3, March, pp 1256–95, <https://doi.org/10.1093/rfs/hhz073>
- Bansal, R, M Ochoa and D Kiku (2016): “Climate change and growth risks”, *NBER Working Papers*, no 23009, December, www.nber.org/papers/w23009
- Barnett, M., Brock, W., & Hansen, L. P. (2020). Pricing Uncertainty Induced by Climate Change. *The Review of Financial Studies*, 33(3), 1024–1066. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhz144>
- Barth, F, B Hübel and H Scholz (2022): “ESG and corporate credit spreads”, *Journal of Risk Finance*, vol 23, no 2, pp 169–90, <https://doi.org/10.1108/JRF-03-2021-0045>

- Batten, S, R Sowerbutts, and M Tanaka (2016): “Let’s talk about the weather: the impact of climate change on central banks”, *Bank of England Working Papers*, no 603, May, www.bankofengland.co.uk/working-paper/2016/lets-talk-about-the-weatherthe-impact-of-climate-change-on-central-banks.
- Bernstein, A, M Gustafson and R Lewis (2019): “Disaster on the horizon: the price effect of sea level rise”, *Journal of Financial Economics*, vol 134, no 2, November, pp 253–72, <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2019.03.013>.
- BlackRock Investment Institute (2019): “Getting physical: scenario analysis for assessing climate-related risks”, *Global Insights series*, 4 April, www.blackrock.com/us/individual/insights/blackrock-investmentinstitute/physicalclimate-risks
- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), 307–327. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(86\)90063-1](https://doi.org/10.1016/0304-4076(86)90063-1)
- Bolton, P and M Kacperczyk (2021): “Do investors care about carbon risk?”, *Journal of Financial Economics*, vol 142, no 2, November, pp 517–49, <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.05.008>
- Bolton, P and M Kacperczyk (2022): “Global pricing of carbon-transition risk”, *Journal of Finance*, forthcoming, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3550233>.
- Bolton, P., & Kacperczyk, M. (2021). Do Investors Care about Carbon Risk? *Journal of Financial Economics*, 142(2), 517–549.
- Borio, C, S Claessens and N Tarashev (2022): “Finance and climate change risk: managing expectations”, *VoxEU*, 7 June, www.bis.org/speeches/sp220607.htm
- Bua, G., Kapp, D., Ramella, F., & Rognone, L. (2024). Transition versus physical climate risk pricing in European financial markets: a text-based approach. *European Journal of Finance*, 1–35. <https://doi.org/10.1080/1351847x.2024.2355103>
- Campbell, J., Lo, A. W., & A. Craig MacKinlay. (2012). *The Econometrics of Financial Markets. Macroeconomic Dynamics*. <https://doi.org/10.2307/j.ctt7skm5>

- Capasso, G, G Gianfrate and M Spinelli (2020): “Climate change and credit risk”, *Journal of Cleaner Production*, vol 266, September, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121634>
- Carbone, S, M Giuzio, S Kapadia, J Krämer, K Nyholm and K Vozian (2021): “The low carbon transition, climate disclosure and firm credit risk”, *ECB Working Papers*, number 2631, December, www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecb.wp2631~00a6e0368c.en.pdf.
- Choi, D, Z Gao and W Jiang (2020): “Attention to global warming”, *The Review of Financial Studies*, vol 33, no 3, March, pp 1112–45, <https://doi.org/10.1093/rfs/hhz086>
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427–431. <https://doi.org/10.2307/2286348>
- Dietz, S., Bowen, A., Dixon, C., & Gradwell, P. (2016). “Climate value at risk” of global financial assets. *Nature Climate Change*, 6(7), 676–679. <https://doi.org/10.1038/nclimate2972>
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, 50(4), 987–1007. <https://doi.org/10.2307/1912773>
- Fender, I, M McMorrow, V Sahakyan and O Zulaica (2019): “Green bonds: the reserve management perspective”, *BIS Quarterly Review*, September, pp 49–63, www.bis.org/publ/qtrpdf/r_qt1909f.htm
- Flammer, C (2021): “Corporate green bonds”, *Journal of Financial Economics*, vol 142, no 2, pp 499–516, <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.01.010>
- Giglio, S, B Kelly and J Stroebe (2021a): “Climate finance”, *Annual Review of Financial Economics*, vol 13, pp 15–36, <https://doi.org/10.1146/annurev-financial-102620-103311>

- Goldsmith-Pinkham, P, S, M Gustafson, R Lewis and M Schwert (2022): “Sea level rise exposure and municipal bond yields”, *NBER Working Papers*, no 30660, November, www.nber.org/papers/w30660
- Gong, X., Fu, C., Huang, Q., & Lin, M. (2022). International political uncertainty and climate risk in the stock market. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 81, 101683–101683. <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2022.101683>
- Hull, J. (2018). *Options, futures, and other derivatives* (10th ed.). Pearson.
- Huynh, T and Y Xia (2021): “Climate change news risk and corporate bond returns”, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, vol 56 no 6, September, pp 1985–2009, <https://doi.org/10.1017/S0022109020000757>.
- Ilhan, E, Z Sautner and G Vilkov (2021): “Carbon tail risk”, *The Review of Financial Studies*, vol 34, no 3, March, pp 1540–71, <https://doi.org/10.1093/rfs/hhaa071>
- International Monetary Fund (2020): “Chapter 5: Climate change: physical risk and equity prices”, *Global Financial Stability Report*, no 2020/001, April, www.imf.org/en/Publications/GFSR/Issues/2020/04/14/global-financial-stabilityreport-april-2020#Chapter5
- Ji, Q., Bouri, E., Lau, C. K. M., & Roubaud, D. (2018). Dynamic connectedness and integration in cryptocurrency markets. *International Review of Financial Analysis*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2018.12.002>
- Khalfaoui, R., Mefteh-Wali, S., Viviani, J.-L., Ben Jabeur, S., Abedin, M. Z., & Lucey, B. M. (2022). How do climate risk and clean energy spillovers, and uncertainty affect U.S. stock markets? *Technological Forecasting and Social Change*, 185, 122083. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122083>
- Mallucci, E (2022): “Natural disasters, climate change, and sovereign risk”, *Journal of International Economics*, vol 139, November, <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2022.103672>

- Mora, C., Rollins, R. L., Taladay, K., Kantar, M. B., Chock, M. K., Shimada, M., & Franklin, E. C. (2018). Bitcoin emissions alone could push global warming above 2°C. *Nature Climate Change*, 8(11), 931–933. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0321-8>
- Murfin, J and M Spiegel (2020): “Is the risk of sea level rise capitalized in residential real estate?”, *The Review of Financial Studies*, vol 33, no 3, March, pp 1217–55, <https://doi.org/10.1093/rfs/hhz134>.
- Ortega, F and S Taspinar (2018): “Rising sea levels and sinking property values: the effects of Hurricane Sandy on New York’s housing market”, *Journal of Urban Economics*, vol 106, July, pp 81–100, <https://doi.org/10.1016/j.jue.2018.06.005>.
- Seltzer, L, L Starks and Q Zhu (2022): “Climate regulatory risks and corporate bonds”, *Federal Reserve Bank of New York Staff Reports*, no 1014, April, www.newyorkfed.org/research/staff_reports/sr1014.
- Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica*, 48(1), 1. <https://doi.org/10.2307/1912017>
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511817434>
- Stoll, C., Klaaßen, L., & Gellersdörfer, U. (2019). The Carbon Footprint of Bitcoin. *Joule*, 3(7), 1647–1661. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.05.012>
- Truby, J. (2018). Decarbonizing Bitcoin: Law and policy choices for reducing the energy consumption of Blockchain technologies and digital currencies. *Energy Research & Social Science*, 44, 399–410. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.009>
- TSAY, R. S. *Analysis of Financial Time Series*. Hoboken: Wiley, 2010.
- Weder di Mauro, B (ed) (2021): *Combatting climate change: a CEPR collection*, CEPR, <https://cepr.org/about/news/new-cepr-ebook-combatting-climate-change-ceprcollection>

Zerbib, O (2019): “The effect of pro-environmental preferences on bond prices: Evidence from green bonds”, *Journal of Banking and Finance*, vol 98, January, pp 39–60, <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2018.10.012>.

OUP accepted manuscript. (2019). *The Review of Financial Studies*. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhz072>

Sedlmeir, J., Buhl, H. U., Fridgen, G., & Keller, R. (2021, February 15). *Recent Developments in Blockchain Technology and their Impact on Energy Consumption*. ArXiv.org. <https://arxiv.org/abs/2102.07886>

de Vries, A. (2018). Bitcoin’s Growing Energy Problem. *Joule*, 2(5), 801–805. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.04.016>

Thalhammer, F., Schöttle, P., Janetschek, M., & Ploder, C. (2022). Blockchain Use Cases Against Climate Destruction. *Cloud Computing and Data Science*, 22–38. <https://doi.org/10.37256/ccds.3220221277>

Será que o risco climático e as criptomoedas podem afetar os índices de ações?

