IA para finanças climáticas



Escola de verão ClimateChangeAI
Malte Toetzke, 11 de agosto de 2026
Universidade Técnica de Munique
Instituto Max Planck de Inovação e Concorrência

MAX PLANCK GESELLSCHAFT

O que esperar desta aula

O que esta aula não é

- Uma introdução completa às finanças climáticas
- Um panorama detalhado dos instrumentos financeiros (p. ex. títulos verdes, project finance)
- Um aprofundamento em métodos específicos de IA ou aprendizado de máquina

O que você vai aprender

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Entender por que o financiamento é essencial para a mitigação e a adaptação
- Entender como a IA pode embasar políticas financeiras e decisões de investimento
- Entender os riscos e limitações das aplicações de IA em finanças

Objetivo principal

Inspirar você a desenvolver suas próprias aplicações de IA para desafios reais das finanças climáticas

Escaneie para votar
Código **3214 6094**

“A ação climática é, no fundo, um problema de alocação de capital ”

Concordo

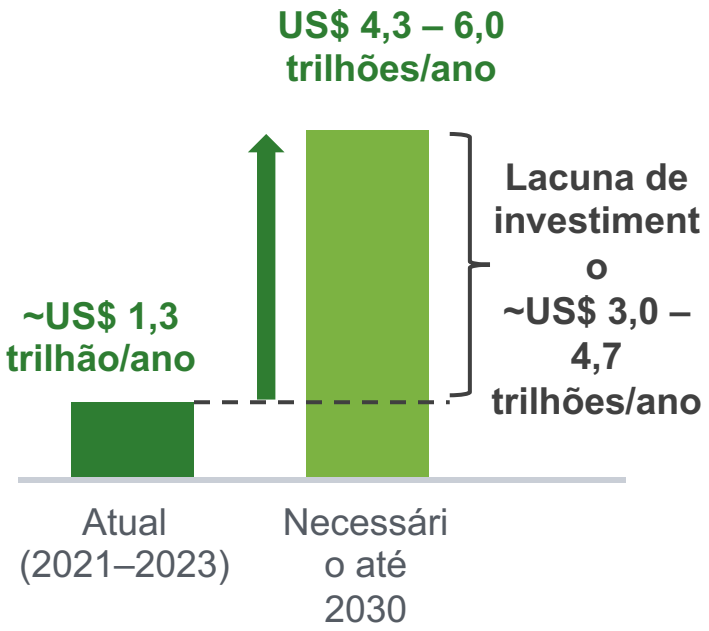
Não sei

Discordo

As finanças climáticas são caras, mas a inação custa muito mais

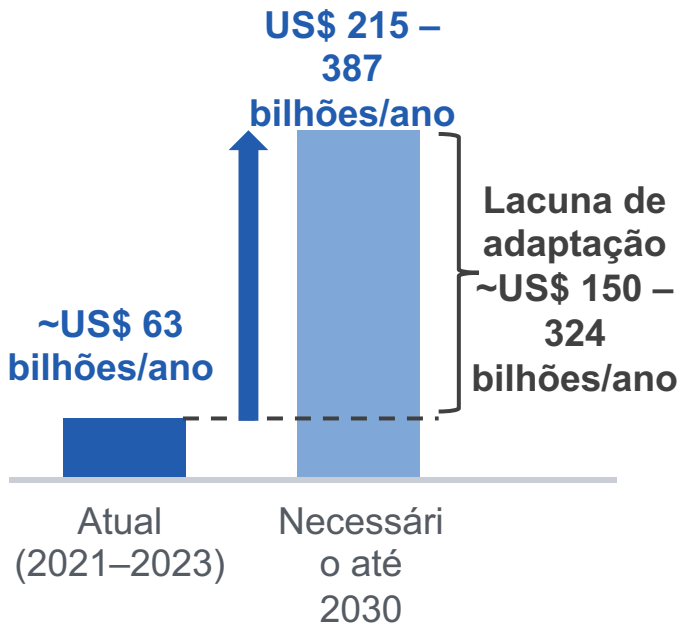
MITIGAÇÃO

Financiamento global da mitigação



ADAPTAÇÃO

Financiamento global da adaptação



Enfrentamos uma **lacuna de financiamento de trilhões de dólares**

Mitigação e adaptação precisam de **4 a 6 vezes mais financiamento** do que o fluxo atual

Porém,…

Estima-se que os investimentos necessários sejam **5 vezes menores** do que os **danos financeiros do cenário tendencial**

Fontes: Climate Policy Initiative (2024), Global Landscape of Climate Finance 2024; PNUMA (2023), Adaptation Gap Report (2023); IPCC AR6 GTIII (2022), cap. 15.

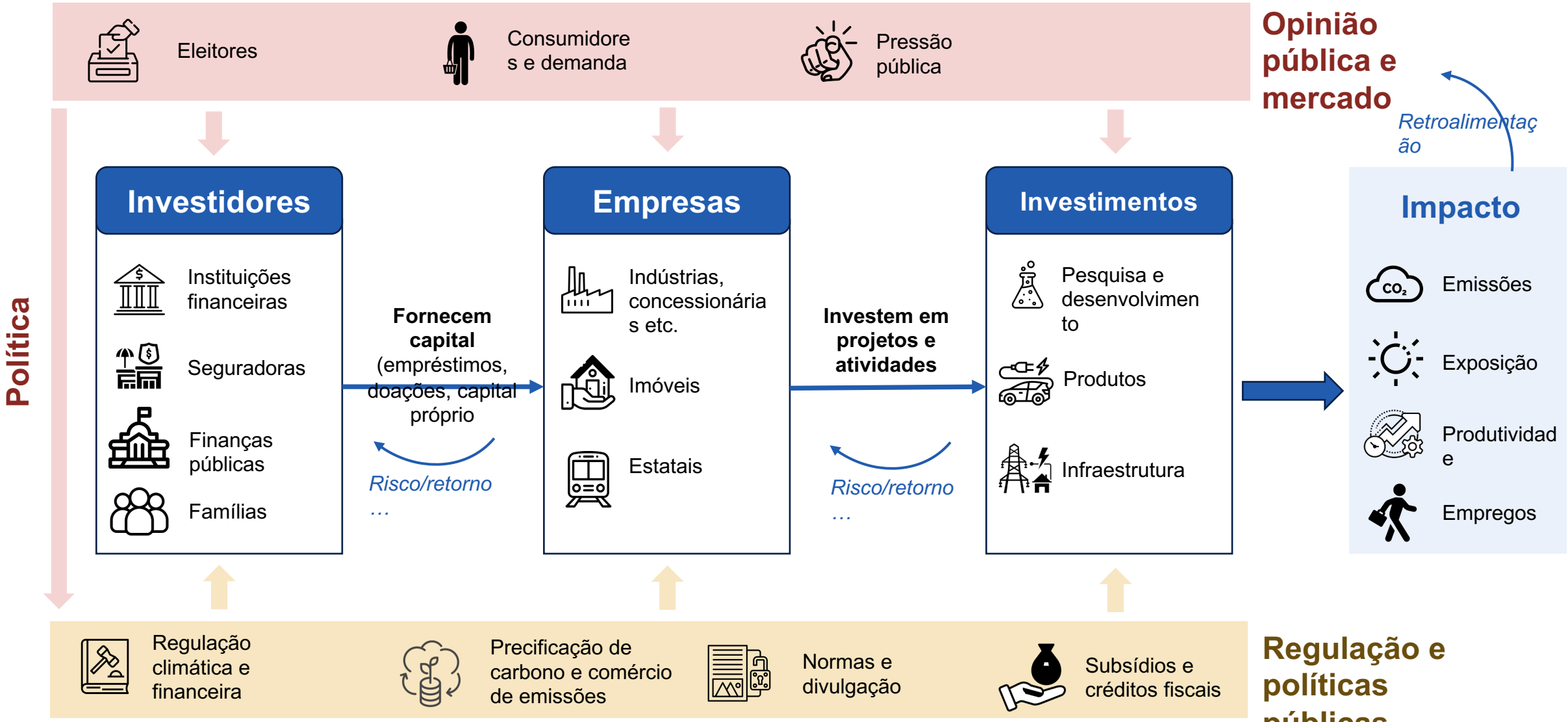
Escaneie para votar

Código **3214 6094**

Qual é o principal motor da ação climática?

- Regulação
- Comportamento do consumidor
- Alocação financeira
- Inovação

Uma visão simplificada: transformações precisam de investimento, investimentos precisam de incentivos



As finanças climáticas exigem informação e transparência, …e é aqui que a IA pode ajudar

Figure 1.4: Data coverage in Global Landscape, 2022

MITIGATION	Private	Public International	Public Domestic	Unknown
Energy	279 ↑	30	262	n/a
Transport	257	24	122	n/a
Buildings & Infrastructure	161 ↑	8	86 ↑	n/a
Agriculture, Forestry & Other Land Use	<1	2	4	n/a
Industry	<1	9	5	11 ↑
Waste	13	0.1	8	n/a
Water & Wastewater	<1	2	8	n/a
Others & Cross-sectoral	<1	15	1	<1
ADAPTATION	6 ↑ 48-60	37	33	n/a
DUAL BENEFITS	10 ↑	47	17	n/a

USD billion

Tracked | Limited tracking | Not tracked | ↑ Complemented with new data sources

Note: In addition to the sectors listed above, the 'Information Communications and Technology' and 'Unknown' sectors made up USD 3.5bn of finance in 2022. The untracked private adaptation values (for consumer and household finance) are estimates from CPI's 'Tracking and Mobilizing Private Sector Climate Adaptation Finance' report

Source: Climate Policy Initiative

Finanças climáticas internacionais:
Para onde vai o financiamento de mitigação e adaptação?

Mercados financeiros:
Onde estão os riscos e oportunidades de investimento ligados ao clima?

Inovação climática:
Como as finanças podem acelerar com eficácia as soluções climáticas?

Casos de uso de IA em finanças climáticas



Extração de informações

Extrair informações financeiras relevantes de fontes de dados não estruturados

Tarefas de exemplo

- *Extrair informações de relatórios de empresas e divulgações financeiras*
- *Identificar zonas atingidas por eventos climáticos extremos em imagens de satélite*

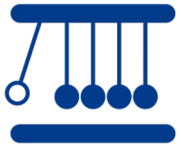


Previsão

Prever eventos ou quantidades futuras sob incerteza

Tarefas de exemplo

- *Prever riscos financeiros (p. ex. físicos, de mercado, regulatórios)*
- *Prever preços de carbono*



Modelagem causal

Estimar os efeitos de decisões de investimento e intervenções

Tarefas de exemplo

- *Estimar os efeitos de políticas e intervenções públicas sobre investimentos*
- *Avaliar a eficácia de estratégias de adaptação*

Em 1–3 palavras: o caso de uso mais promissor da IA em finanças climáticas?

Prever preços de carbono

Avaliar startups

Escaneie para votar

Código **3214 6094**

Aprofundamento

Finanças climáticas internacionais:
Para onde vai o financiamento de mitigação e adaptação?

Mercados financeiros:
Onde estão os riscos e oportunidades de investimento ligados ao clima?

Inovação climática:
Como as finanças podem acelerar com eficácia as soluções climáticas?



Aprofundamento

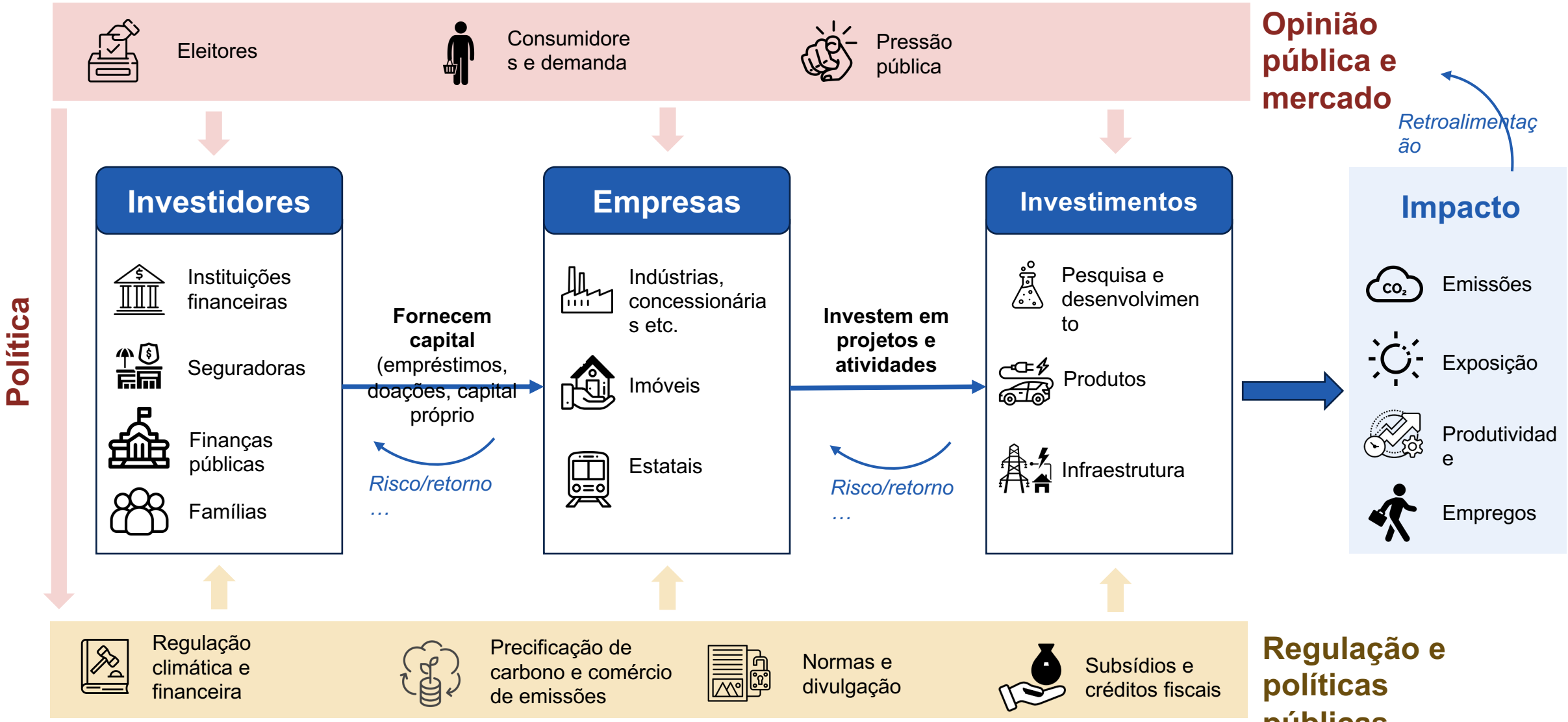
Finanças climáticas internacionais:
Para onde vai o financiamento de mitigação e adaptação?

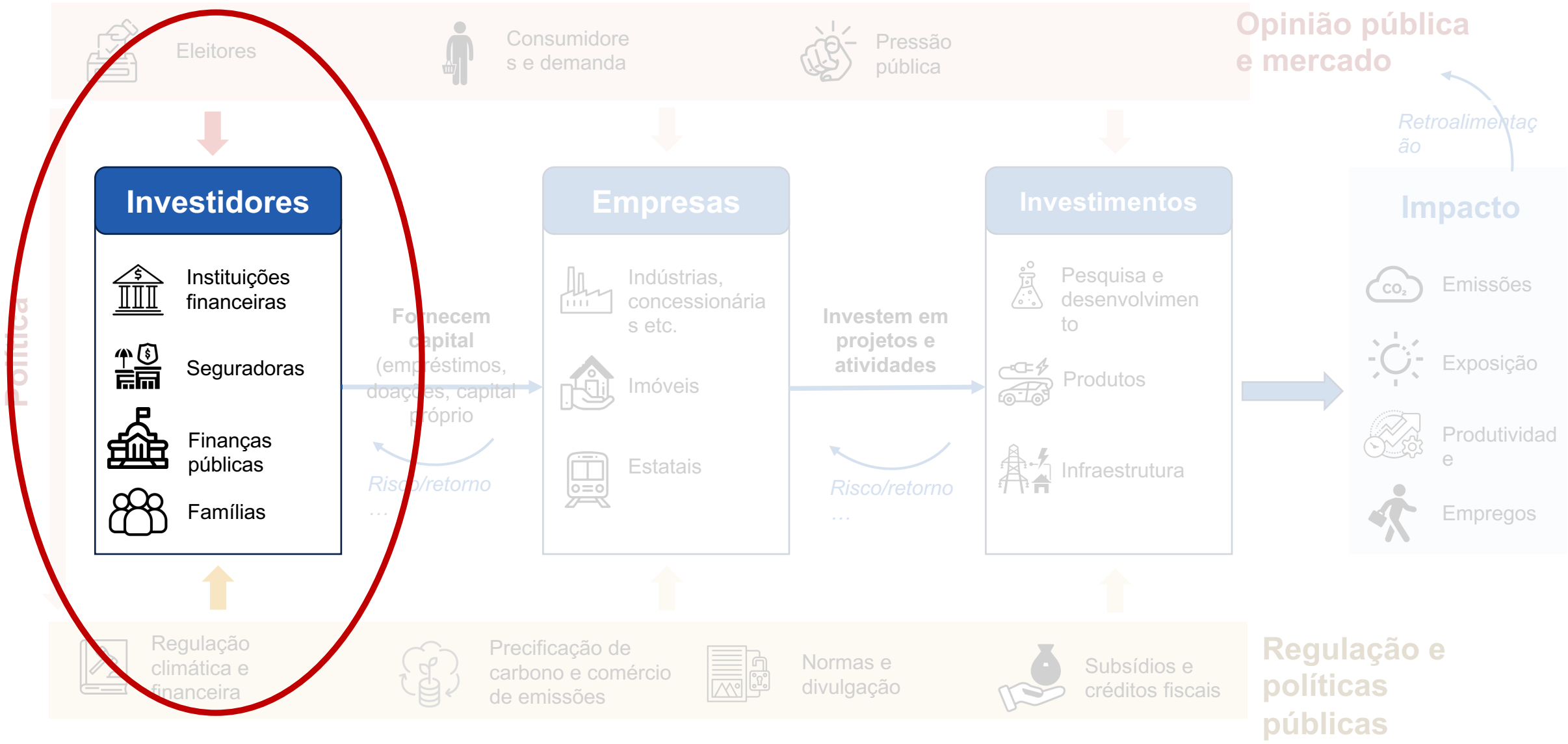
Mercados financeiros:
Onde estão os riscos e oportunidades de investimento ligados ao clima?

Inovação climática:
Como as finanças podem acelerar com eficácia as soluções climáticas?



Uma visão simplificada: transformações precisam de investimento, investimentos precisam de incentivos

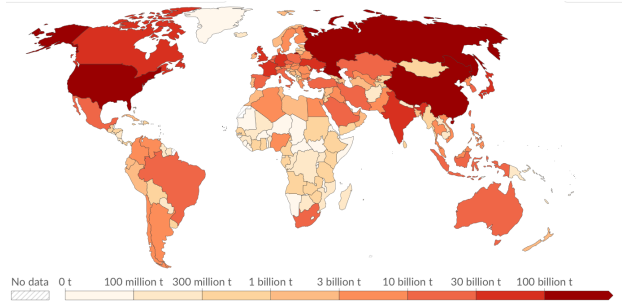



Eleitores
Consumidores e demanda
Pressão pública
Opinião pública e mercado
Política
Investidores
Instituições financeiras
Seguradoras
Finanças públicas
Famílias
Fornecem capital (empréstimos, doações, capital próprio
Risco/retorno
...
Empresas
Indústrias, concessionárias etc.
Imóveis
Estatais
Investem em projetos e atividades
Risco/retorno
...
Investimentos
Pesquisa e desenvolvimento
Produtos
Infraestrutura
Impacto
Emissões
Exposição
Produtividade
Empregos
Retroalimentação
Regulação climática e financeira
Precificação de carbono e comércio de emissões
Normas e divulgação
Subsídios e créditos fiscais
Regulação e políticas públicas

Por que as finanças climáticas internacionais são importantes

Responsabilidade (histórica)

Quem colocou o CO2 na atmosfera?

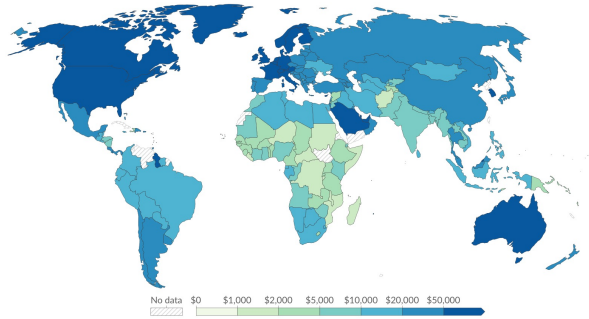


Emissões históricas acumuladas de CO_2 (1750–2024)

https://ourworldindata.org/co2-emissions-metrics

Capacidade (de pagar)

Quem pode pagar pela ação climática?

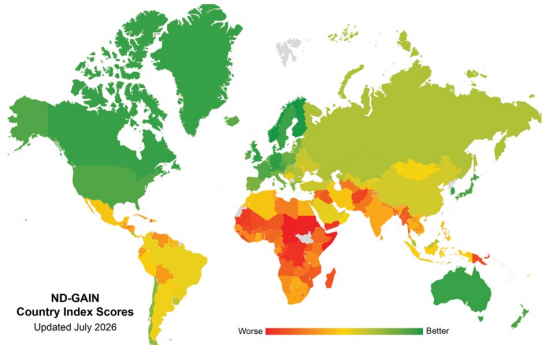


PIB per capita (2024)

https://ourworldindata.org/grapher/gdp-per-capita-worldbank

Vulnerabilidade

Quem é mais vulnerável aos impactos climáticos?



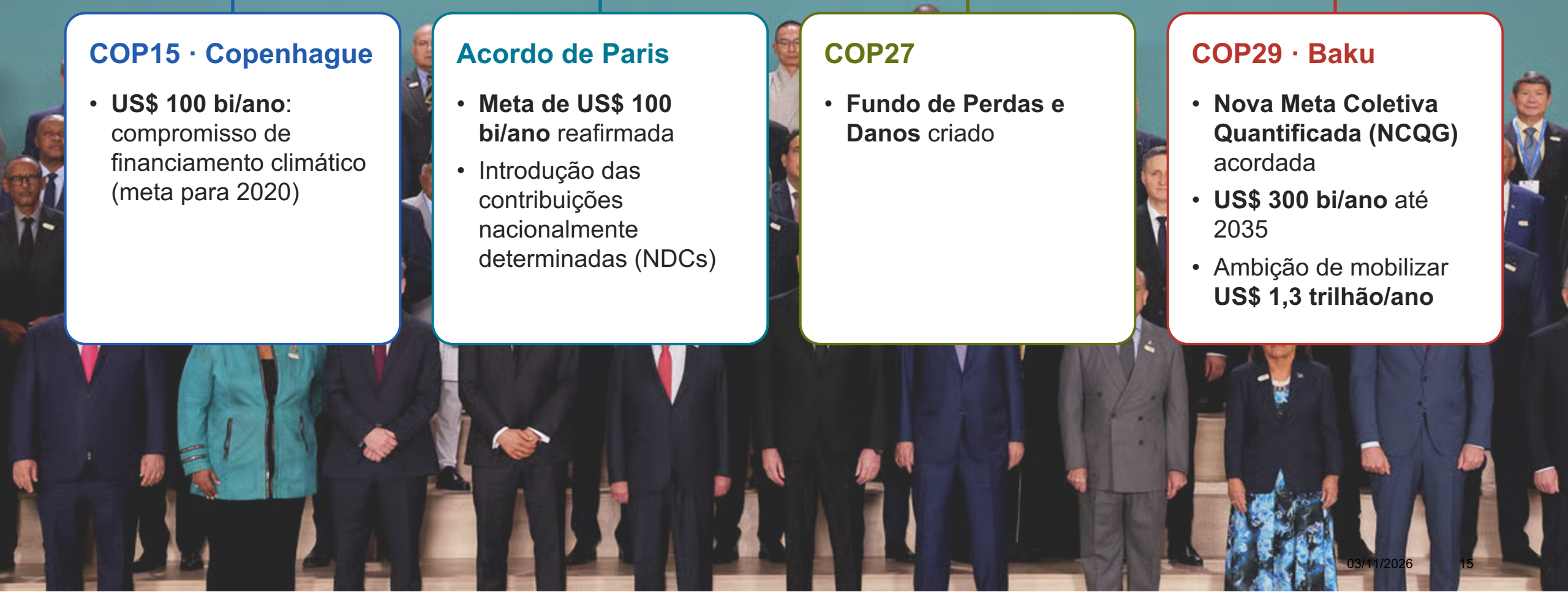
Pontuações do índice de países ND-GAIN (2026)

https://gain.nd.edu/our-work/country-index/

As finanças climáticas internacionais buscam transferir **recursos financeiros** de países com maior **responsabilidade** e **capacidade** para apoiar países com maior **vulnerabilidade**

United Nations Climate Change

COP29 Baku Azerbaijan



2009

COP15 · Copenhague

- **US$ 100 bi/ano**: compromisso de financiamento climático (meta para 2020)

2015

Acordo de Paris

- **Meta de US$ 100 bi/ano** reafirmada
- Introdução das contribuições nacionalmente determinadas (NDCs)

2022

COP27

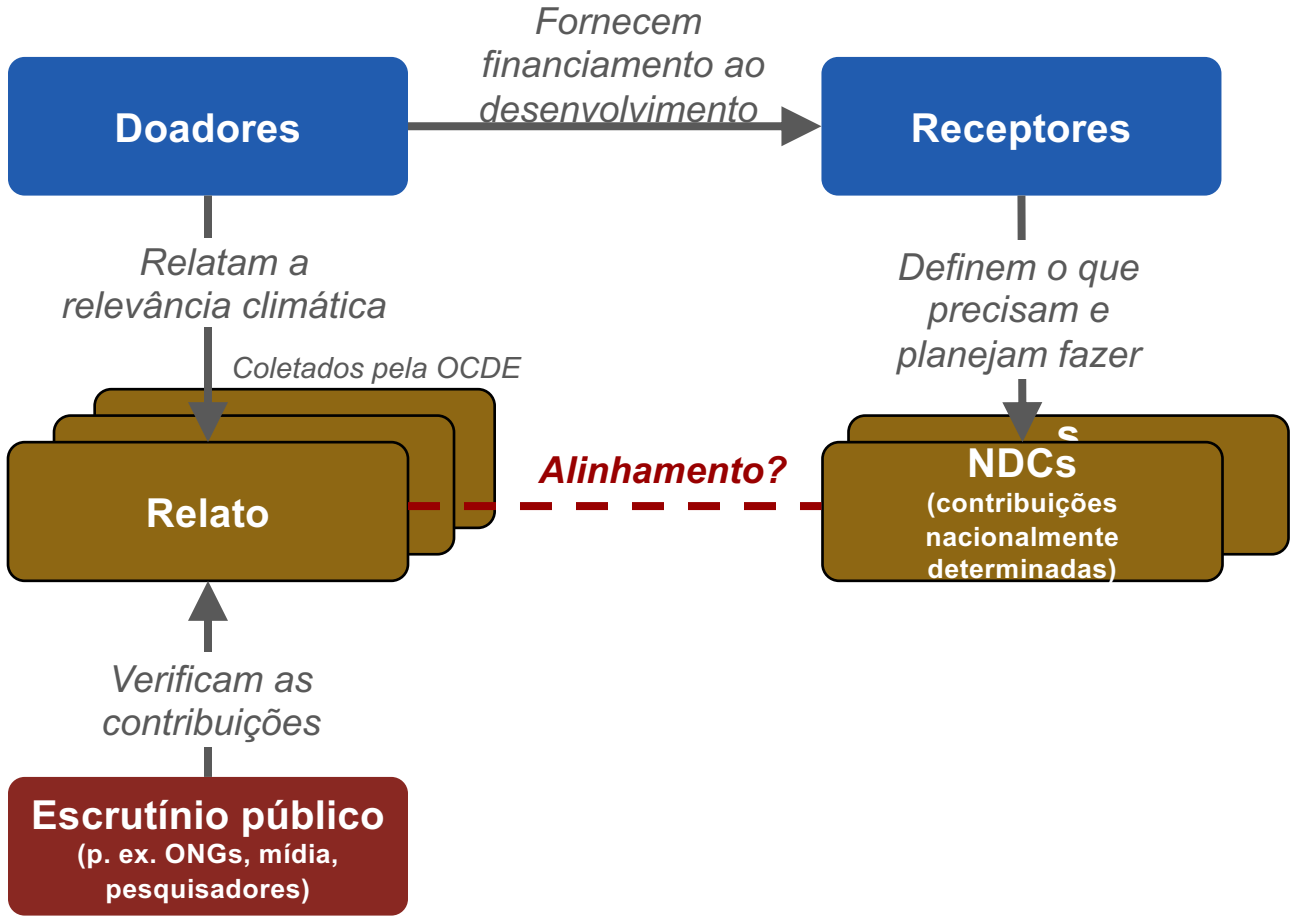
- **Fundo de Perdas e Danos** criado

2024

COP29 · Baku

- **Nova Meta Coletiva Quantificada (NCQG)** acordada
- **US$ 300 bi/ano** até 2035
- Ambição de mobilizar **US$ 1,3 trilhão/ano**

Como o progresso das finanças climáticas é acompanhado e verificado em relação a necessidades e compromissos?



Consistência

O que conta como financiamento climático?

Relato individual de cada doador

Granularidade

Quais atividades são financiadas?

Pouco detalhe sobre atividades e objetivos

Verificação

Os números relatados estão corretos?

Milhões de relatórios a verificar

Toetzke et al (2022)

O financiamento climático internacional relatado é muito contestado

Are reports of climate adaptation finance being exaggerated?

Journalism from the Thomson Reuters Foundation

https://www.context.news/climate-justice/are-reports-of-climate-adaptation-finance-being-exaggerated?

Rich countries overstating "true value" of climate finance by up to $88 billion, says Oxfam

OXFAM

https://www.oxfam.org.uk/media/press-releases/rich-countries-overstating-true-value-of-climate-finance-by-up-to-88-billion-says-oxfam

But tracking what really counts under the banner of climate finance has long been fraught - with some experts dubbing it a "wild west" of vague definitions, questionable projects and inflated accounting.

The Guardian

https://www.theguardian.com/global-development/2025/nov/14/what-exactly-is-climate-finance-who-pays-it-and-who-gets-it?

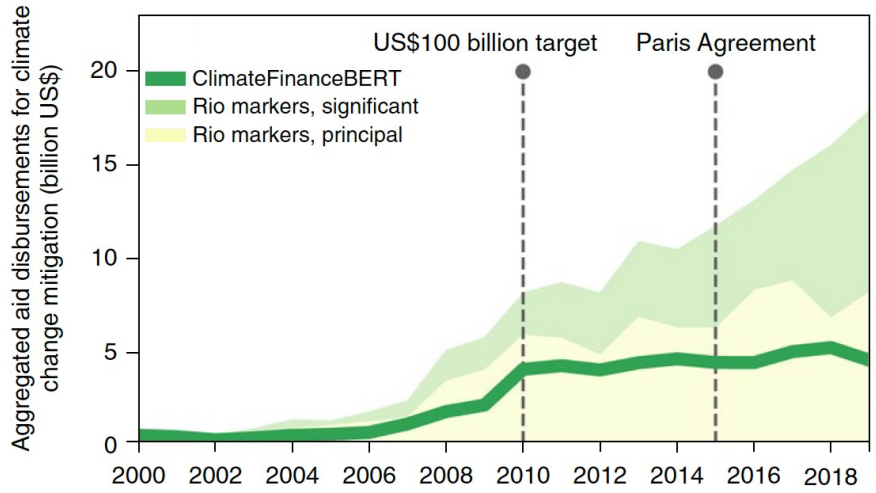
Treinamos um modelo supervisionado para classificar de forma independente a relevância climática de projetos de financiamento ao desenvolvimento



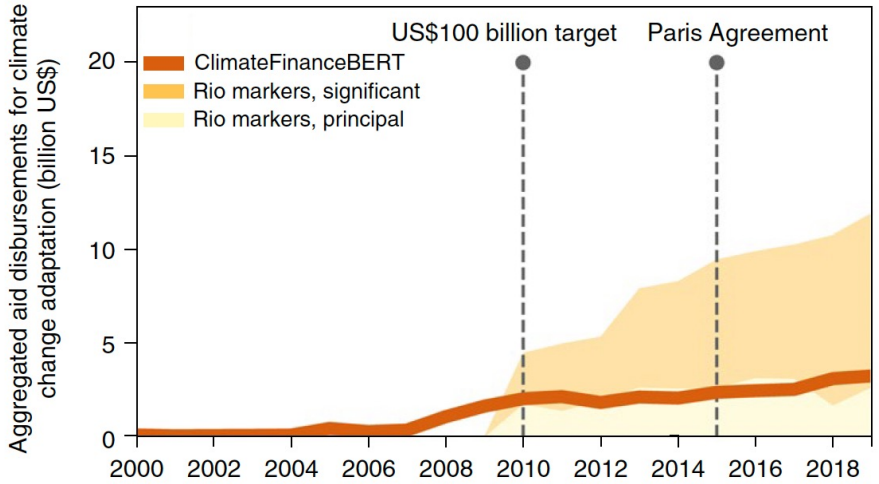
Toetzke et al (2022)

Nossos resultados mostraram desvios substanciais em relação aos números relatados

Financiamento da mitigação



Financiamento da adaptação



Toetzke et al (2022)

Muito abaixo do relatado

O financiamento climático bilateral fica **21% abaixo** dos marcadores do Rio "principais" e **64% abaixo** dos "principais + significativos".

O relato é inconsistente

Indícios tanto de **super-** quanto de **sub-relato**, que variam **entre** e também **dentro dos doadores**

A promessa de US$ 100 bi está em xeque

Volumes menores evidenciam o verdadeiro desafio: definir de forma consistente o que realmente conta como financiamento climático (antes de prometer números)

Contribuição, limitações e trabalhos futuros

Contribuição principal

- **Ferramenta de verificação:** uma reavaliação independente e replicável do financiamento climático relatado
- **Referência consistente:** classificação consistente de 2,7 milhões de projetos de APD relatados por diferentes doadores (2000–2019)

Limitações

- **Sensível a palavras-chave:** o modelo BERT é sensível às palavras-chave da descrição do projeto
- **Contexto limitado:** o modelo omite contexto relevante (p. ex. vulnerabilidade do país para adaptação)
- **Visão unidimensional:** a classificação foca temas, não implementação nem instrumentos (p. ex. regulação vs. educação vs. projetos)

Trabalhos futuros

- **Integrar o contexto:** incluir a vulnerabilidade do país na avaliação do financiamento da adaptação
- **Ir além dos temas:** classificar os instrumentos usados (construção de infraestrutura, capacitação etc.)
- **Ligar a outras fontes:** comparar o financiamento climático fornecido com as necessidades dos receptores declaradas nas NDCs

Em 1–3 palavras: que outras ideias você tem para a IA no financiamento climático internacional?

Escaneie para votar

Código **3214 6094**

XXX

XXX

Intervalo de 5 minutos

Aprofundamento

Finanças climáticas internacionais:
Para onde vai o financiamento de mitigação e adaptação?

Mercados financeiros:
Onde estão os riscos e oportunidades de investimento ligados ao clima?

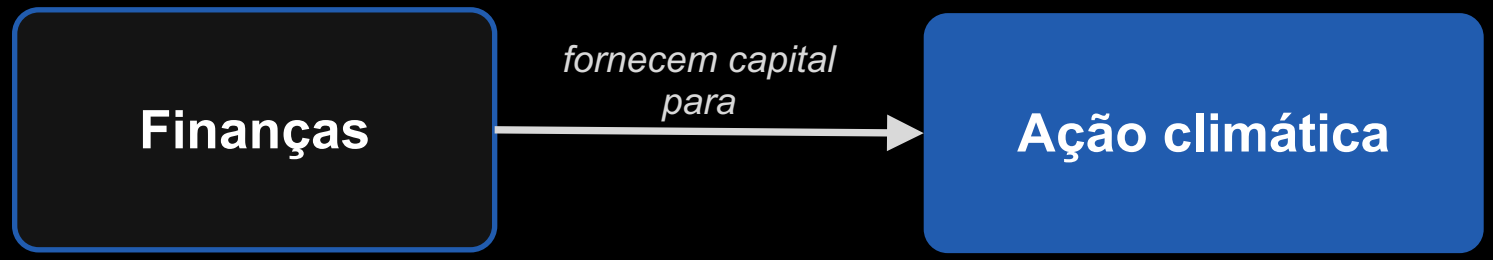
Inovação climática:
Como as finanças podem acelerar com eficácia as soluções climáticas?



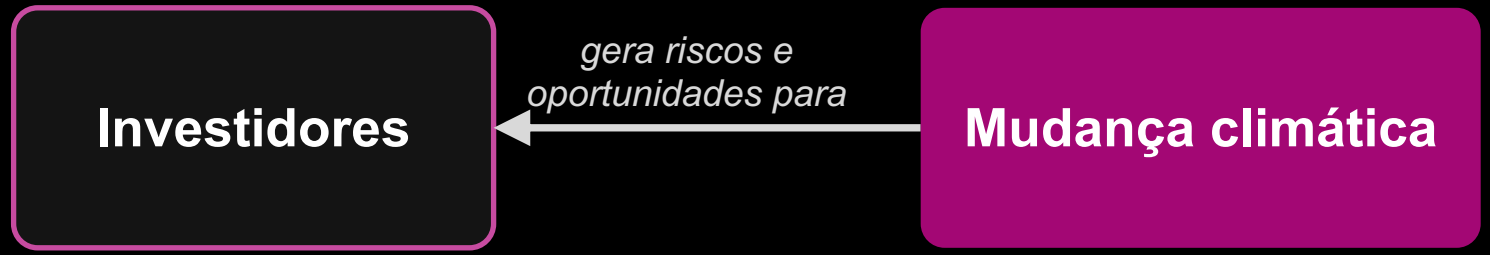
Vamos mudar de perspectiva

De como as finanças moldam a ação climática a como a mudança climática afeta os investimentos

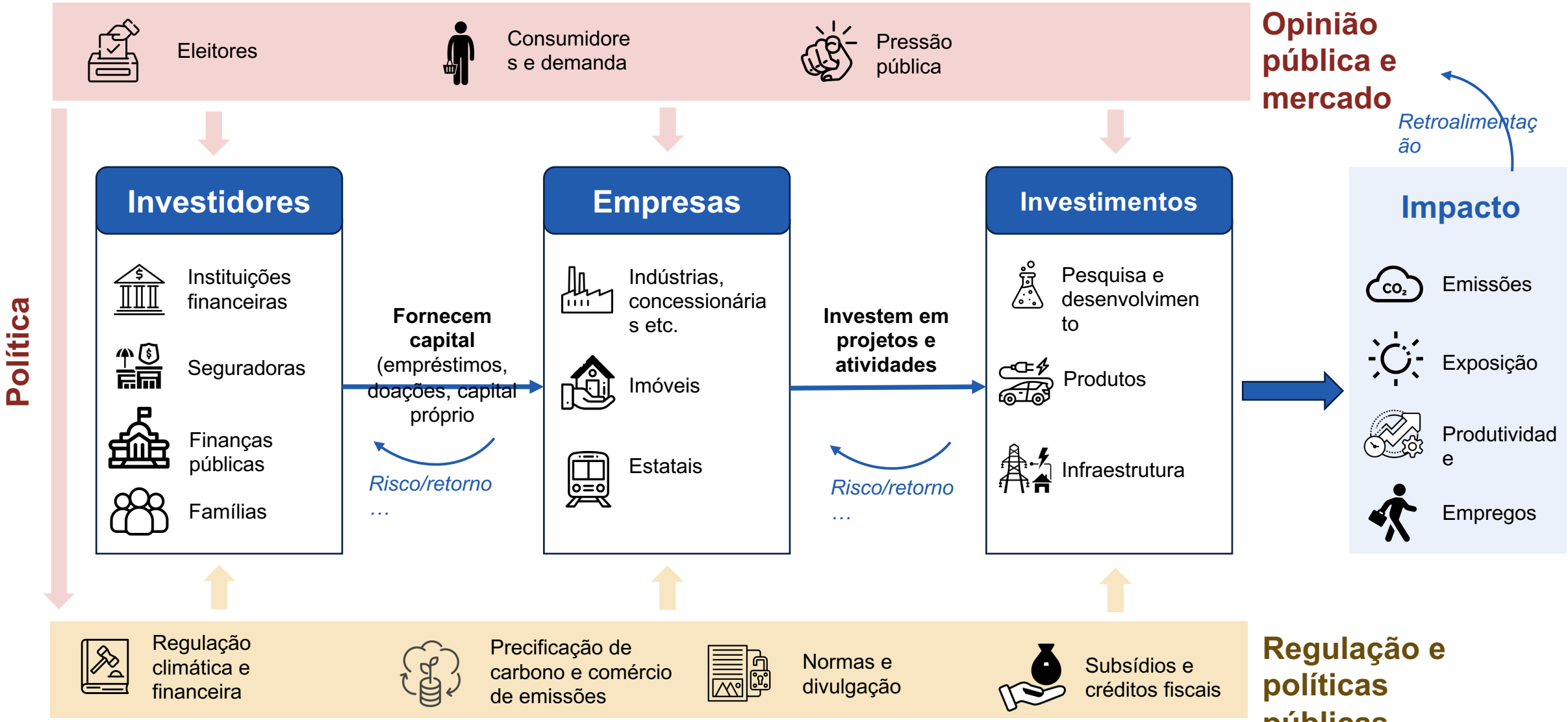
1 - A lente financeira
Como as finanças viabilizam a ação climática

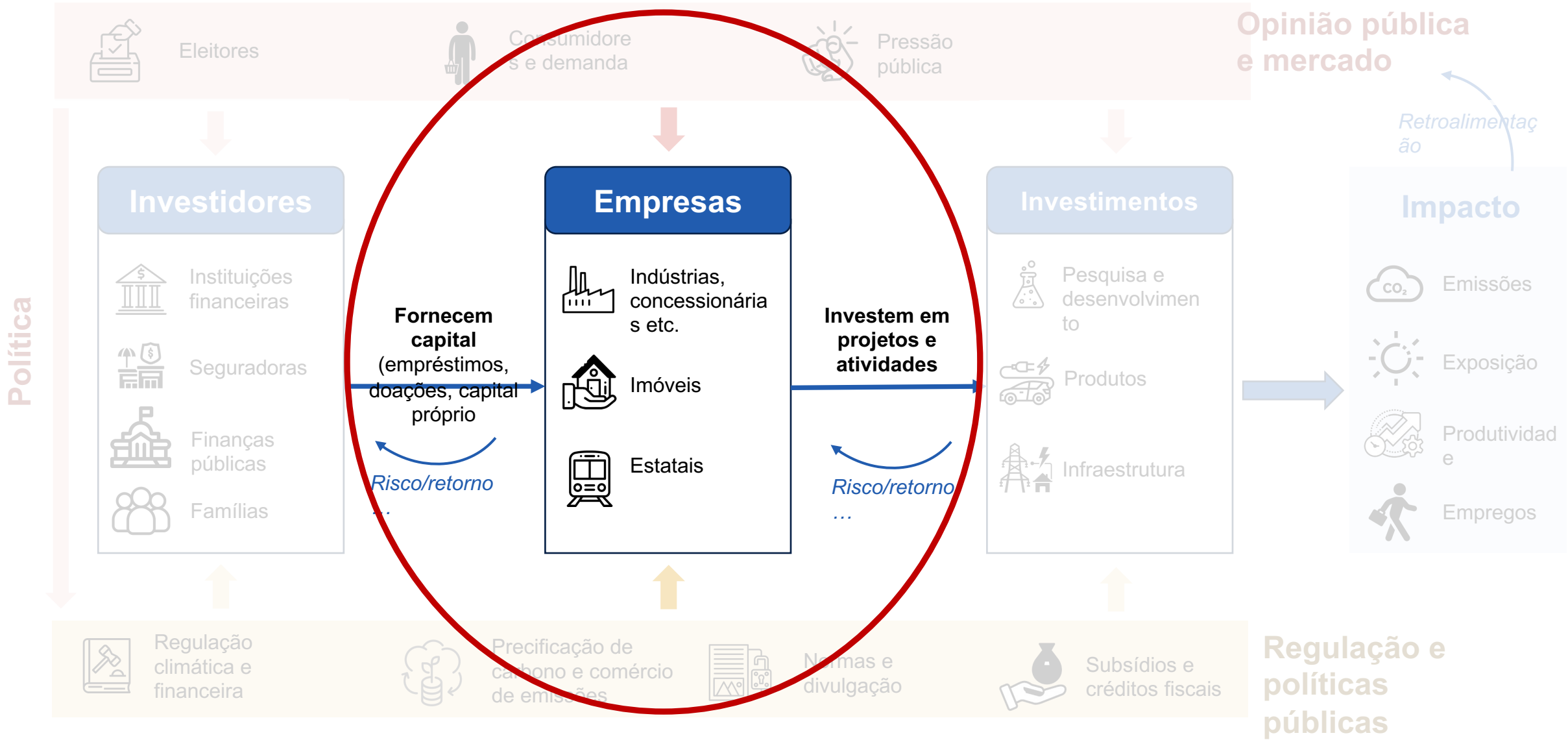


2 - A lente do investidor
Como a ação climática gera riscos e oportunidades



Uma visão simplificada: transformações precisam de investimento, investimentos precisam de incentivos

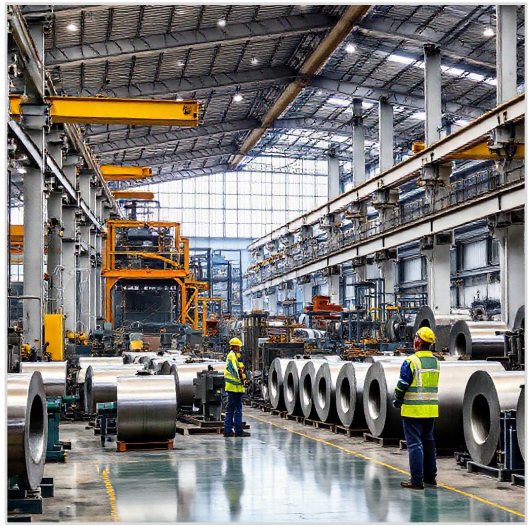



Eleitores
Consumidores e demanda
Pressão pública
Opinião pública e mercado
Retroalimentação
Política
Investidores
Instituições financeiras
Seguradoras
Finanças públicas
Famílias
Fornecem capital (empréstimos, doações, capital próprio
Risco/retorno …
Empresas
Indústrias, concessionárias etc.
Imóveis
Estatais
Investem em projetos e atividades
Risco/retorno …
Investimentos
Pesquisa e desenvolvimento
Produtos
Infraestrutura
Impacto
Emissões
Exposição
Produtividade
Empregos
Regulação climática e financeira
Precificação de carbono e comércio de emissões
Normas e divulgação
Subsídios e créditos fiscais
Regulação e políticas públicas

Riscos financeiros relacionados ao clima

Riscos de transição

Como a transição climática afetará meus investimentos?



- Riscos tecnológicos
- Riscos de políticas
- Riscos de mercado

Fonte da imagem: pt-alexindo.com

Riscos físicos

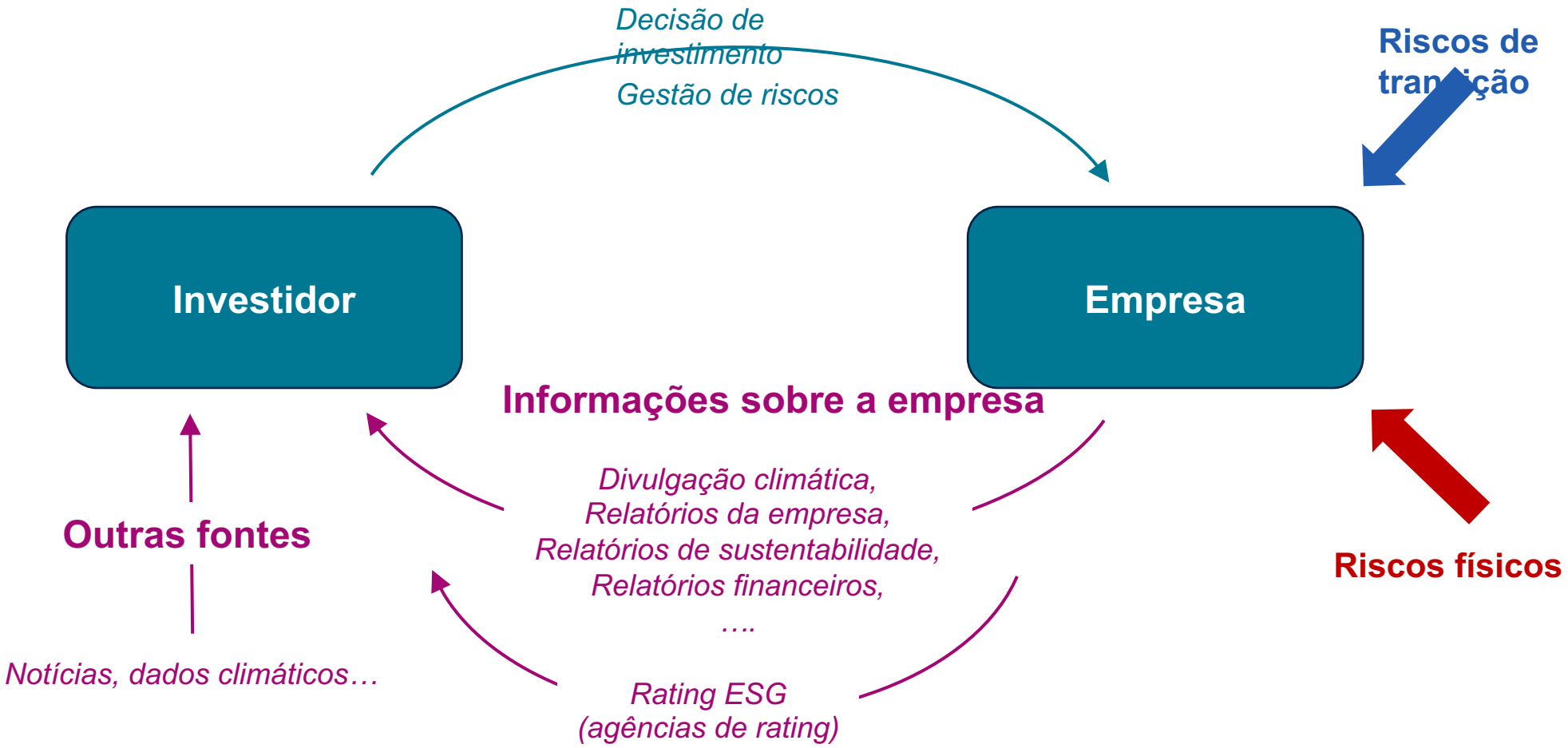
Como os impactos da mudança climática afetarão meus investimentos?



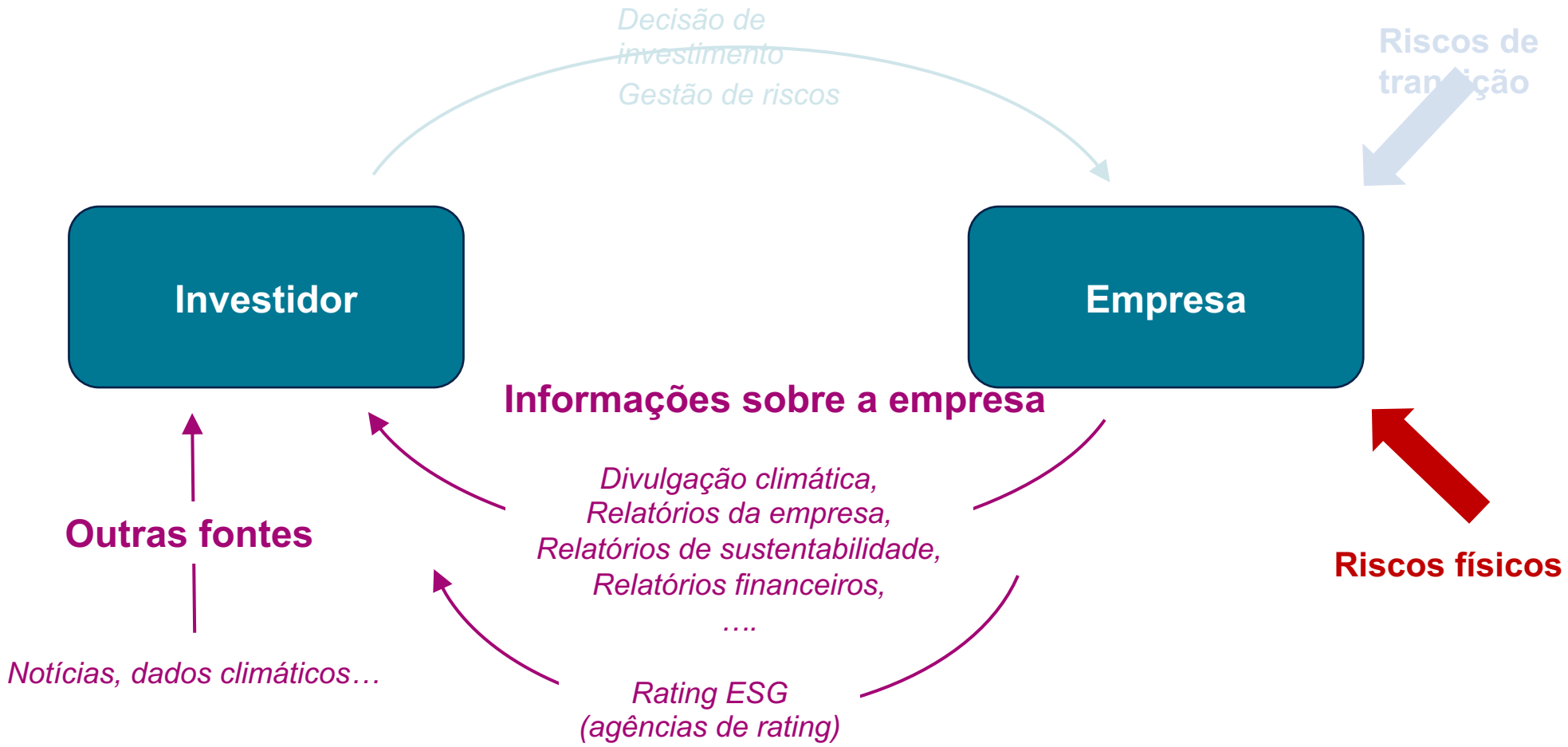
- Eventos climáticos extremos
- Mudança climática crônica

Fonte da imagem: environmentamerica.org

Taxonomia do marco TCFD (2017)



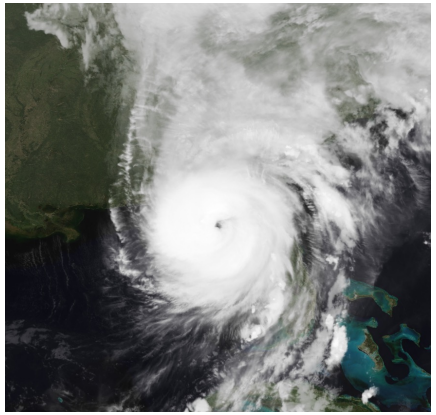
O crescente **volume** e a **complexidade** das informações climáticas criam oportunidades para a **IA** transformar essas informações em evidências úteis para decisões



O crescente **volume** e a **complexidade** das informações climáticas criam oportunidades para a **IA** transformar essas informações em evidências úteis para decisões

Com a mudança climática, os eventos extremos **estão mais frequentes** e **intensos**

Furacão Helene (2024)



US$ 79 bilhões em danos físicos

Incêndios no norte da Califórnia (2017)



US$ 30 bilhões em danos físicos

Os impactos financeiros nas empresas causados por eventos extremos têm recebido grande atenção de investidores, seguradoras e formuladores de políticas (Krueger et al, 2020; Stroebel e Wurgler, 2021)

Até que ponto as empresas **são afetadas** por eventos extremos?

E os impactos financeiros **além dos danos físicos** (p. ex. rupturas na cadeia de suprimentos, choques de demanda)?

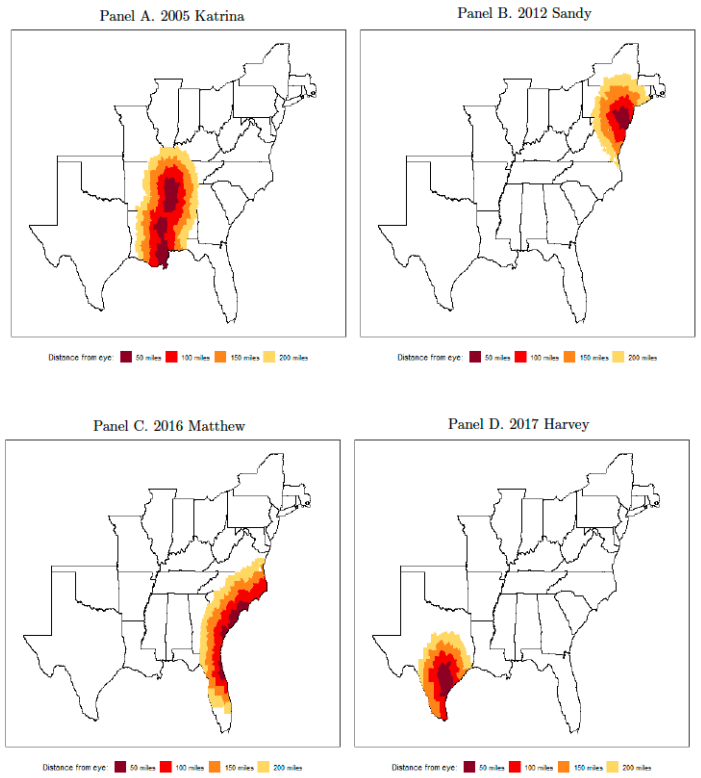
Como os **mercados financeiros reagem** aos impactos nas empresas?

https%3A%2F%2Fde.wikipedia.org%2Fwiki%2FHurrikan_Helene&ved=0CBYQjRxqFwoTCKDS-qDsxZUDFQAAAAAdAAAAABBq&opi=89978449

https%3A%2F%2Fwww.theguardian.com%2Fus-news%2F2020%2Fjul%2F21%2Fcalifornia-wildfires-gold-hog-mineral-susanville&ved=0CBYQjRxqFwoTCKCij8nsxZUDFQAAAAAdAAAAABBq&opi=89978449

Para estimar os impactos financeiros de eventos extremos nas empresas, primeiro é preciso saber se elas foram atingidas

Abordagens geoespaciais



Kruttli et al. (2024)

Indicam se empresas foram atingidas (ou não) sobrepondo a localização de seus ativos às "zonas de impacto" de eventos extremos (Kruttli et al., 2024; Addoum et al., 2020, 2023)

- **Aproximação muito simplificada** de se as empresas foram atingidas
- **Ignoram efeitos indiretos** via cadeias de suprimentos e choques de demanda (Barrot e Sauvagnat, 2016; Pankratz e Schiller, 2024)
- **Excluem ativos móveis/difusos** como frotas de transporte, redes elétricas ou ferroviárias
- **Não se aplicam a muitos tipos de eventos** (p. ex. tempestades de inverno, ondas de calor)

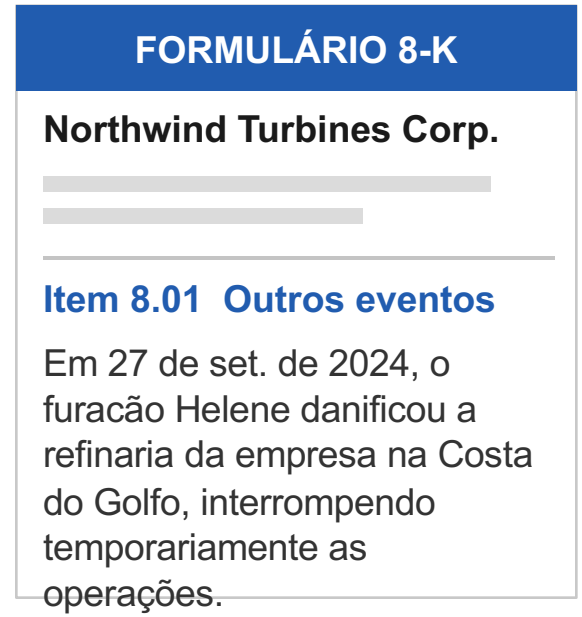
Ideia: analisar as divulgações de fatos relevantes das empresas

O que são divulgações de fatos relevantes?

Empresas listadas em bolsas dos EUA devem apresentar um formulário 8-K à SEC para divulgar fatos relevantes que possam afetar os investidores.

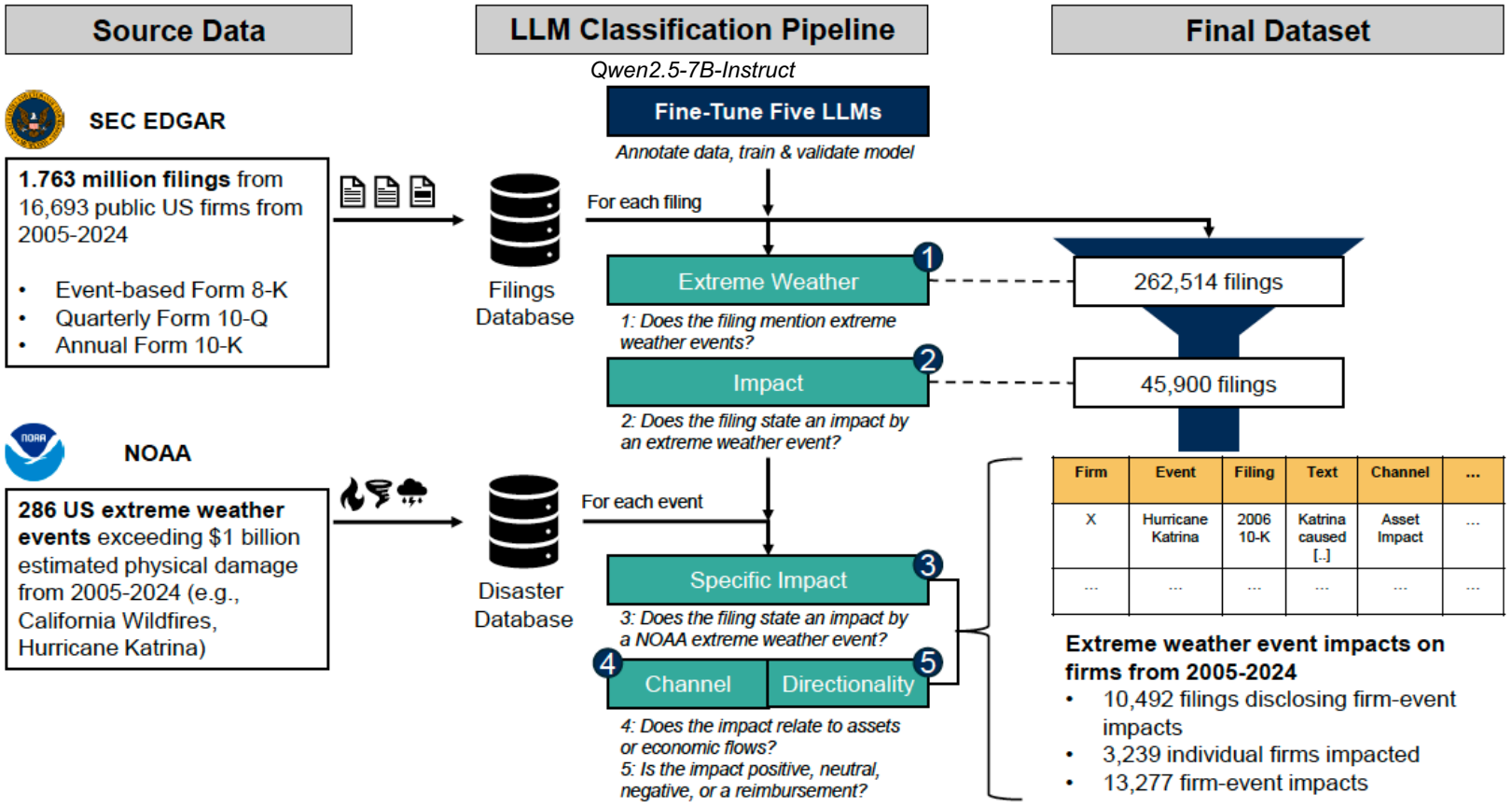
Exemplos:

- Grandes processos judiciais
- Paralisação de fábricas
- Rupturas na cadeia de suprimentos
- Danos por furacões, inundações, incêndios
- Fusões e aquisições



Milhares de empresas apresentam dezenas de milhares de documentos por ano, o que inviabiliza a análise manual

Analisamos divulgações financeiras públicas com LLMs para identificar impactos de eventos extremos nas empresas



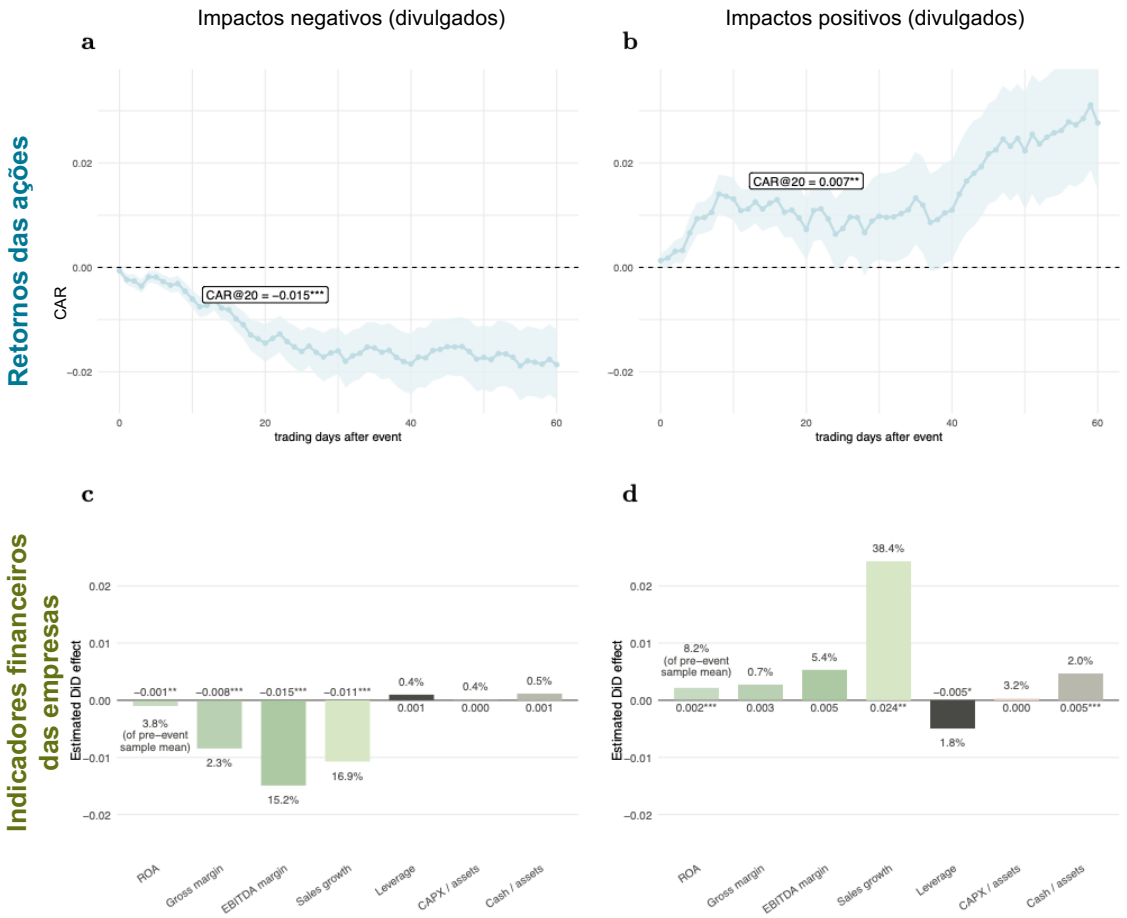
Schimanski et al. (2025)

Para empresas atingidas, estimamos os efeitos nos retornos das ações e em outros indicadores financeiros

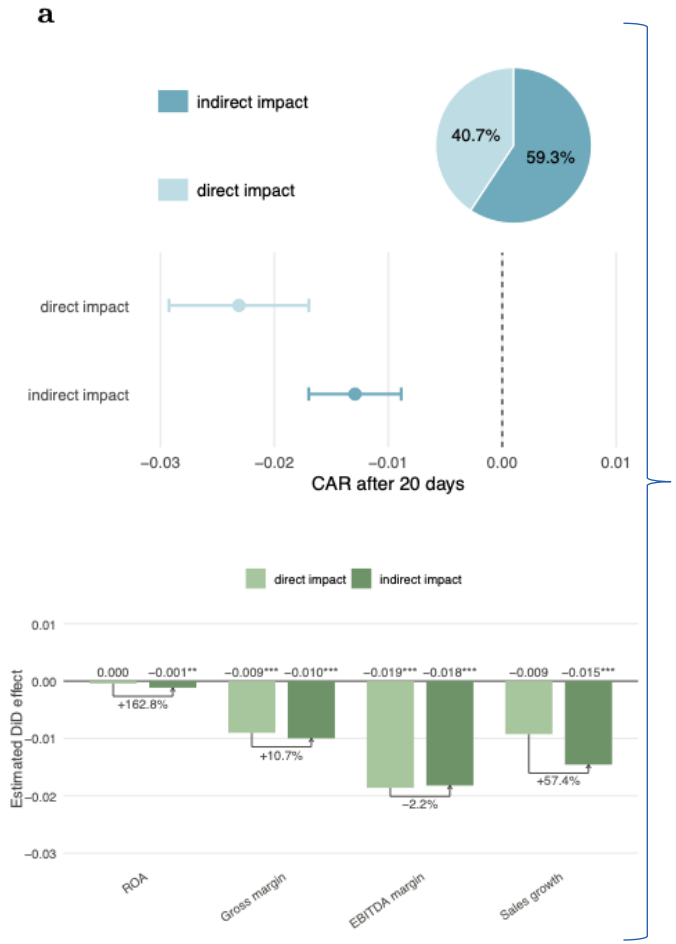
Positivo vs. negativo

Retornos das ações

Indicadores financeiros das empresas



Direto vs. indireto



Os mercados financeiros parecem **subestimar sistematicamente os impactos indiretos** dos eventos extremos

Schimanski et al. (2025)

Contribuição, limitações e pesquisas futuras

Contribuição

- **Ferramenta de identificação:** primeira identificação escalável, no nível da empresa e ex post, de impactos reais de eventos extremos a partir dos documentos
- **Diferentes canais:** capta impactos diretos e indiretos, negativos e positivos, que os métodos geoespaciais não captam

Limitações

- **Fonte de informação:** depende da divulgação dos impactos à SEC (embora as empresas sejam responsáveis, impactos indiretos podem ser sub-relatados)
- **Escopo:** limitado a empresas de capital aberto dos EUA
- **Adaptação:** não inclui o grau de preparo das empresas

Pesquisas futuras

- **Granularidade:** extrair informações sobre ativos atingidos e etapas da cadeia de suprimentos
- **Adaptação:** incluir informações sobre medidas de adaptação (p. ex. de relatórios) para identificar se empresas que investem em adaptação (1) são menos atingidas e (2) têm custos financeiros menores

Outros casos de uso de IA para analisar riscos financeiros climáticos

Riscos de transição

Como a transição climática afetará meus investimentos?

As empresas conseguem fazer a transição?

P. ex. analisar planos de transição

(Colesanti Senni et al. (2025), Transition Pathway Initiative)

A transição é crível?

P. ex. identificar greenwashing em relatórios e na comunicação pública

(Bingler et al. (2022))

Quem está na vanguarda da transição?

P. ex. analisar patentes verdes das empresas e sua aderência ao negócio principal

(Cohen et al. (2025), OECD Env-Tech patent classification)

Riscos físicos

Como os impactos da mudança climática afetarão meus investimentos?

Quais empresas estão expostas?

P. ex. comparar ativos das empresas com previsões de eventos extremos

(Oxford Spatial Finance Initiative)

As empresas estão cientes dos riscos relevantes?

P. ex. comparar relatórios de adaptação com a exposição das empresas

(Sautner et al. (2023), Pankratz et al. (2023))

Quão preparadas estão as empresas?

P. ex. analisar estratégias de adaptação das empresas e sua eficácia

Aprofundamento

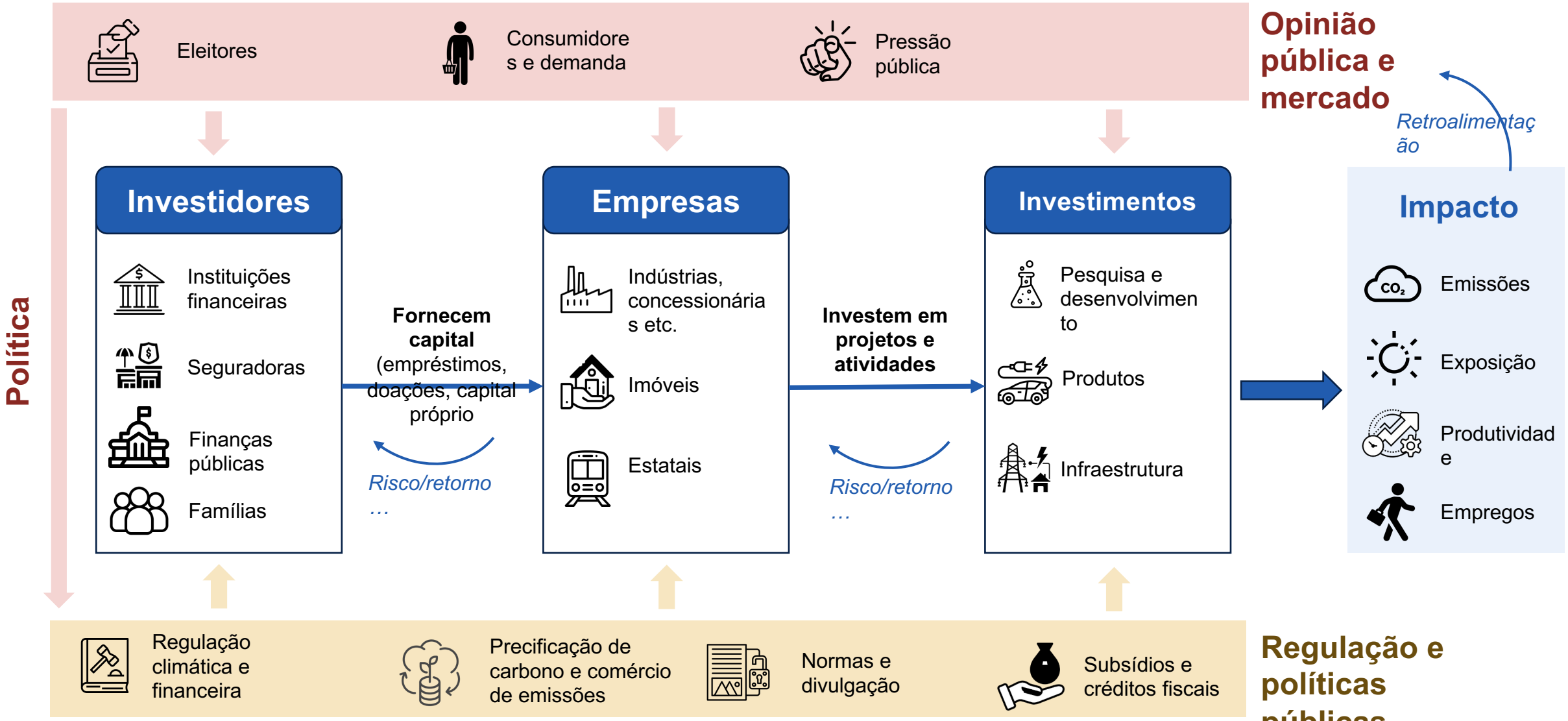
Finanças climáticas internacionais:
Para onde vai o financiamento de mitigação e adaptação?

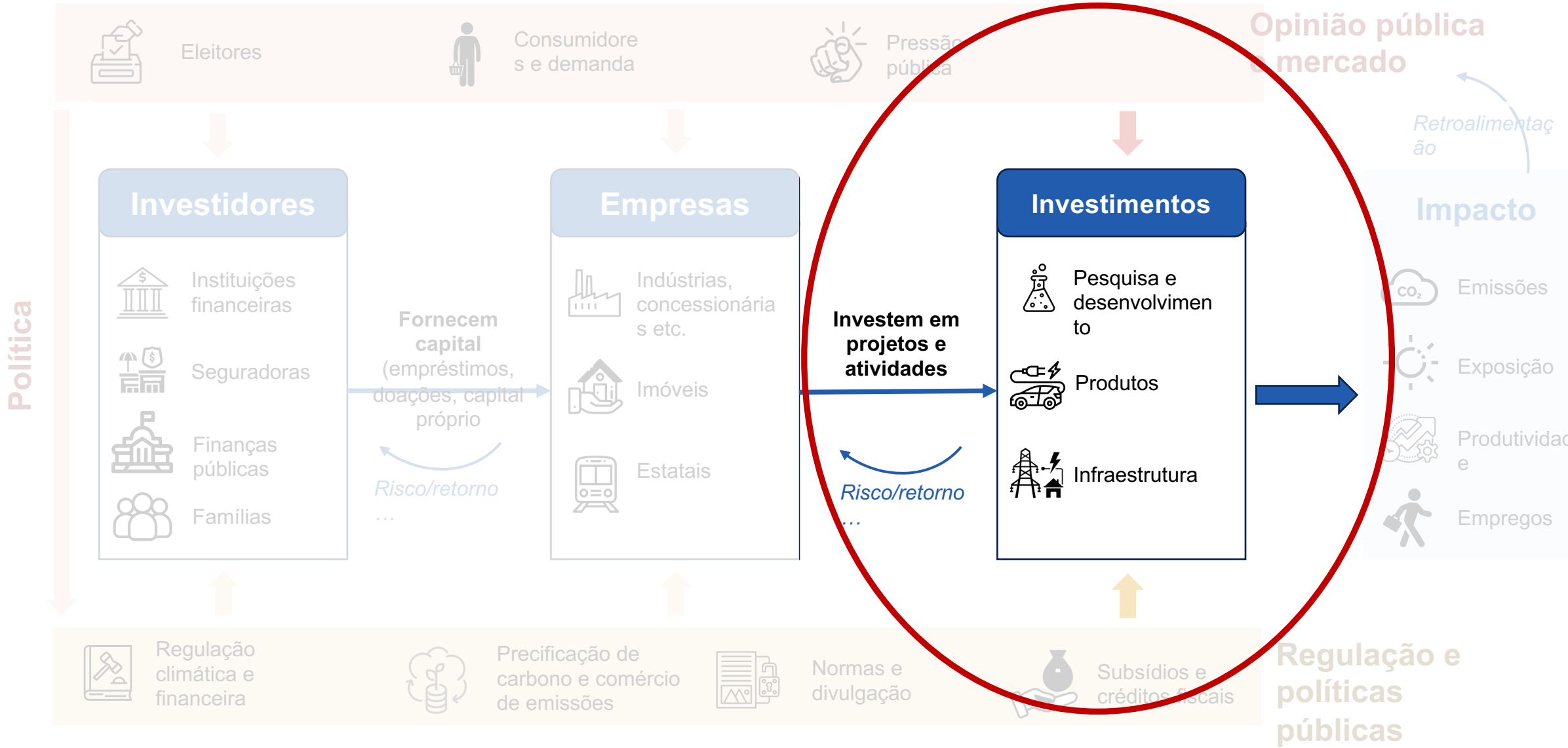
Mercados financeiros:
Onde estão os riscos e oportunidades de investimento ligados ao clima?

Inovação climática:
Como as finanças podem acelerar com eficácia as soluções climáticas?



Uma visão simplificada: transformações precisam de investimento, investimentos precisam de incentivos




Eleitores
Consumidores e demanda
Pressão pública
Opinião pública e mercado
Retroalimentação
Política
Investidores
Instituições financeiras
Seguradoras
Finanças públicas
Famílias
Fornecem capital (empréstimos, doações, capital próprio
Risco/retorno
…
Empresas
Indústrias, concessionárias etc.
Imóveis
Estatais
Investem em projetos e atividades
Risco/retorno
…
Investimentos
Pesquisa e desenvolvimento
Produtos
Infraestrutura
Impacto
Emissões
Exposição
Produtividade
Empregos
Regulação climática e financeira
Precificação de carbono e comércio de emissões
Normas e divulgação
Subsídios e créditos fiscais
Regulação e políticas públicas

As finanças são essenciais para acelerar a inovação em tecnologias climáticas, do laboratório à difusão em larga escala



Transição climática



Pesquisa e desenvolvimento

Demonstração e piloto

Comercialização

Primeiros usuários

Difusão

As finanças são essenciais para acelerar a inovação em tecnologias climáticas, do laboratório à difusão em larga escala



Transição climática



Pesquisa e desenvolvimento

Demonstração e piloto

Comercialização

Primeiros usuários

Difusão

"Sair do laboratório" (doações)

"Chegar ao mercado" (venture capital em estágio inicial)

"Escalar um nicho" (venture capital em estágio avançado)

"Escalar em vários mercados" (financiamento por dívida)

São (tipos de) investidores diferentes!

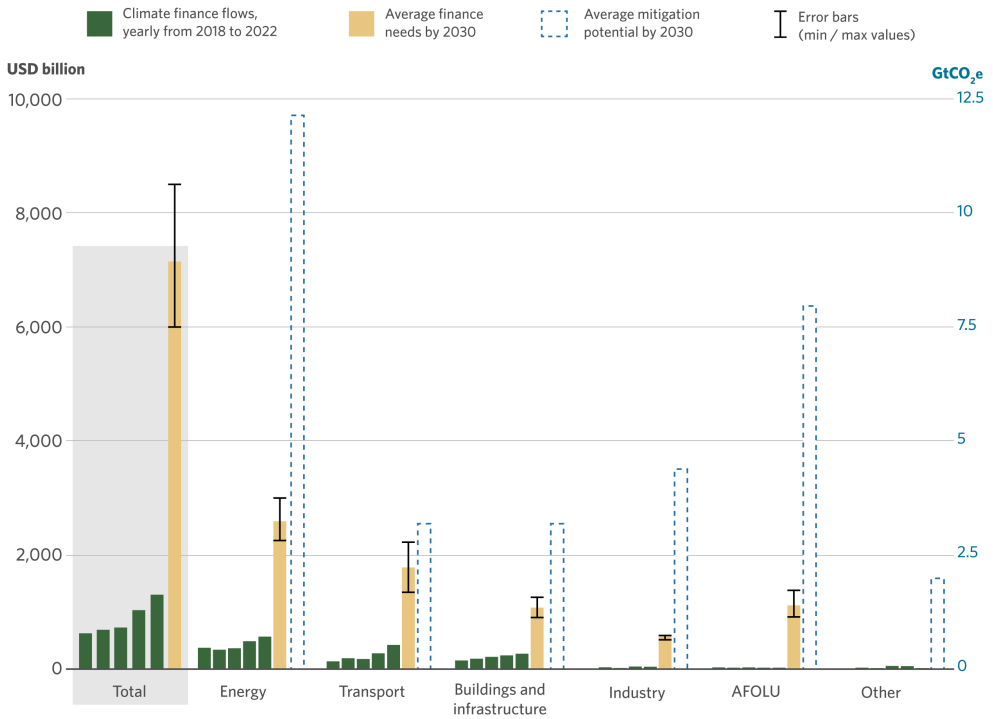
Porém, várias barreiras desestimulam investidores a financiar tecnologias climáticas

Altas necessidades de capital inicial para escalar
As primeiras plantas comerciais e fábricas exigem bilhões de dólares antes de gerar receita

Alta incerteza tecnológica
Muitas tecnologias emergentes ainda não são competitivas em custo, e as curvas de custo e trajetórias tecnológicas futuras continuam incertas.

Horizontes de investimento longos
Investimentos em infraestrutura e deep tech têm vida útil longa e retorno lento, pouco atraentes para muitos investidores de capital de risco

Risco político e regulatório
Preços futuros de carbono, subsídios e regulações são incertos, o que dificulta prever demanda e fluxos de caixa

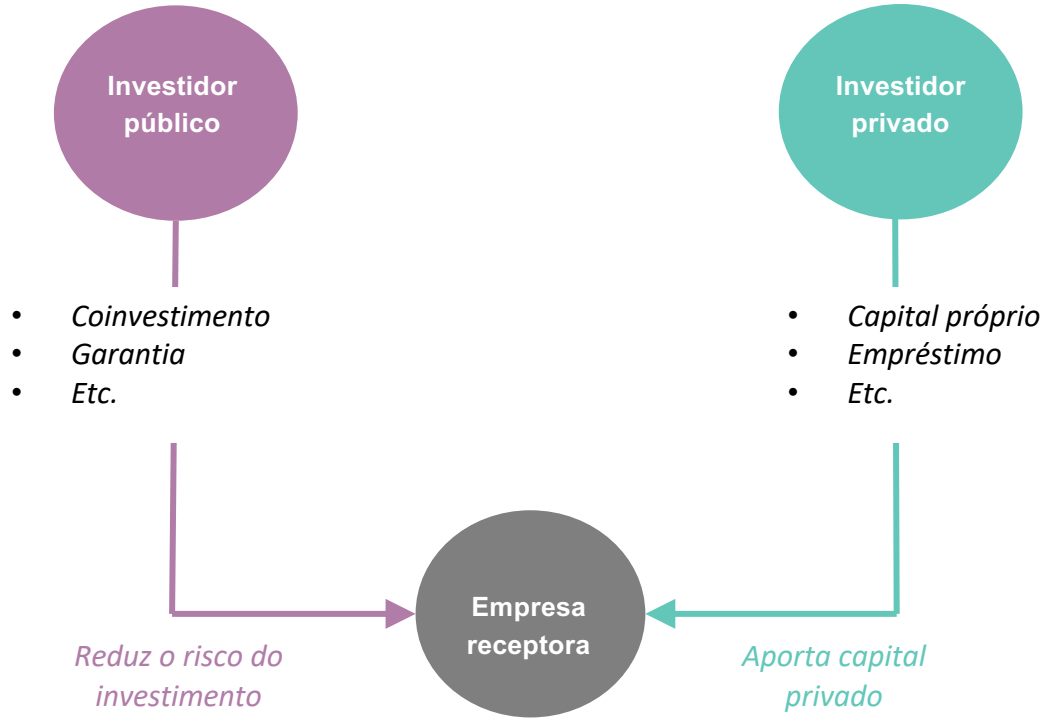


Note: Historical finance flows (2018-2022) are expressed in nominal USD. Climate finance needs for 2023-2030 are expressed in constant 2022 USD. Average mitigation potential is sourced from UNEP (2024). Emissions Gap Report. This applies to similar analyses hereafter.

Source: Climate Policy Initiative

Como as políticas públicas podem mobilizar investimento privado em tecnologias climáticas?

Em vez de substituir o investimento privado, os investidores públicos buscam mobilizá-lo por meio de coinvestimento



TESLA

SOLYNDRA®

Stegra

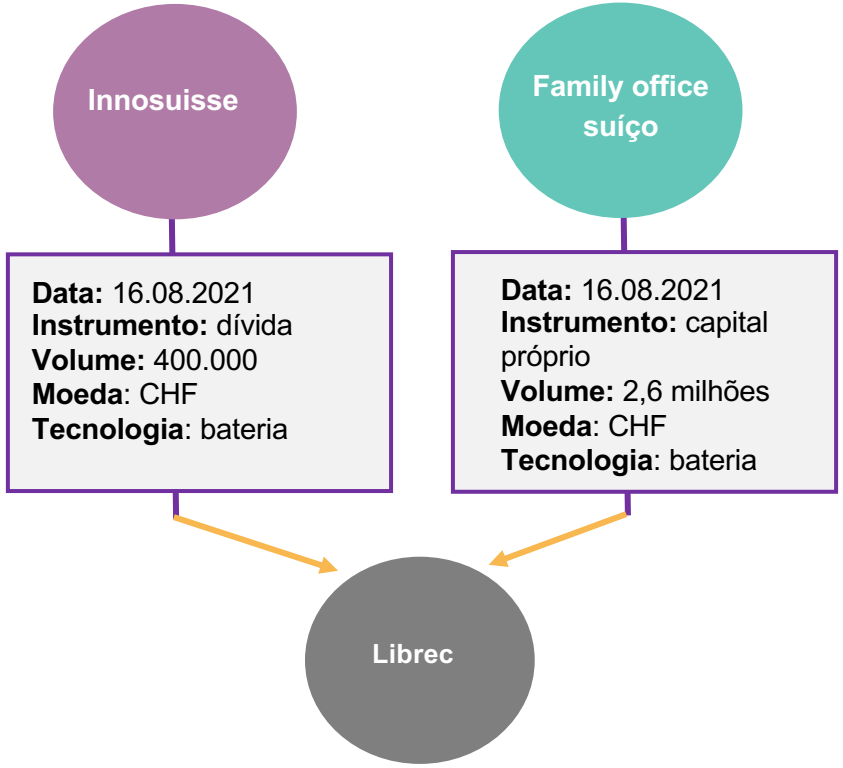
northvolt®

O cofinanciamento público é eficaz e adicional?

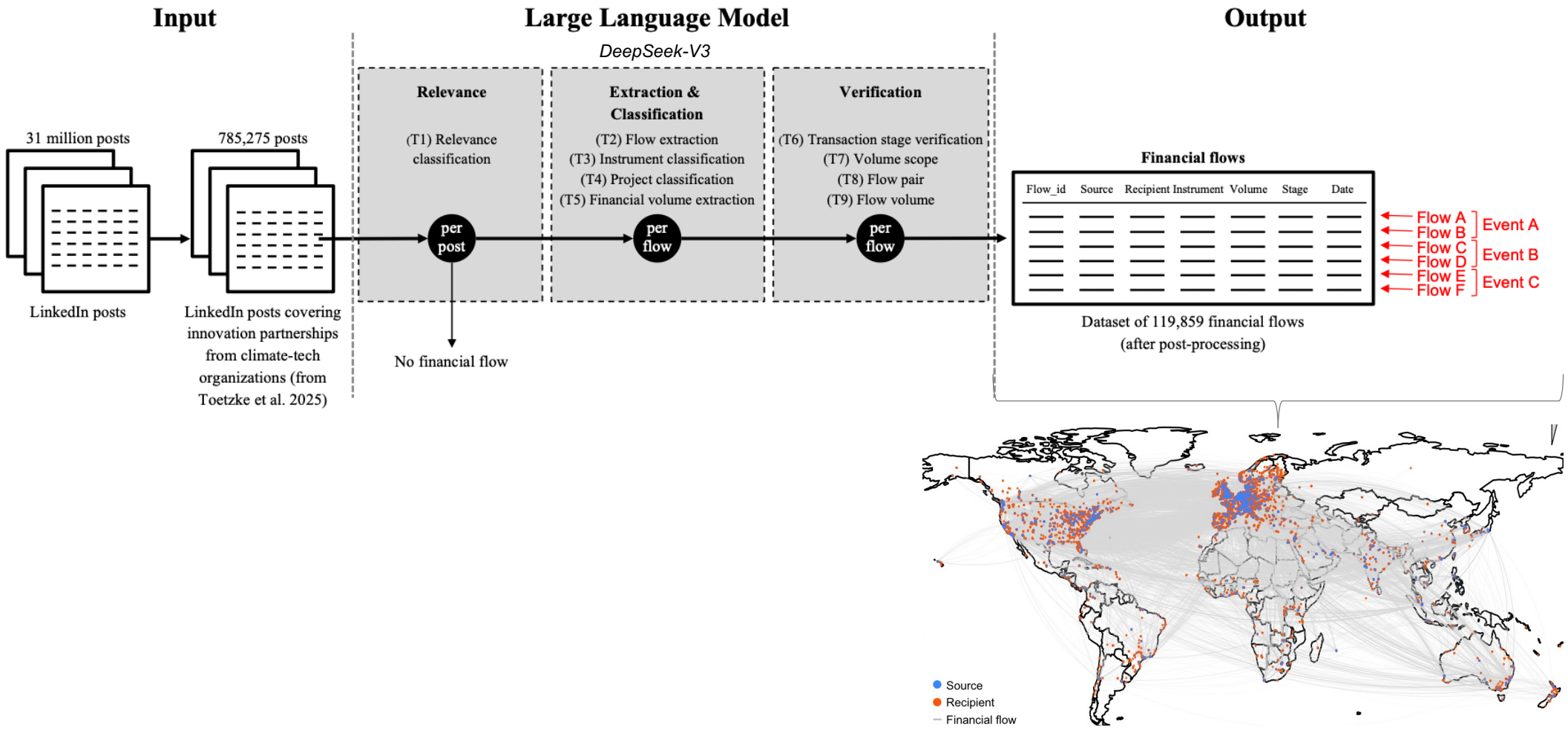
Extraímos fluxos de investimento em tecnologias climáticas de anúncios no LinkedIn usando grandes modelos de linguagem

LIBREC
Environmental Services
Biberist, Solothurn

Librec capta 2,6 milhões de francos em rodada seed com demanda superior à oferta, liderada por um family office suíço, acompanhada de um empréstimo de 400 mil da Innosuisse para avançar na reciclagem de baterias (…).



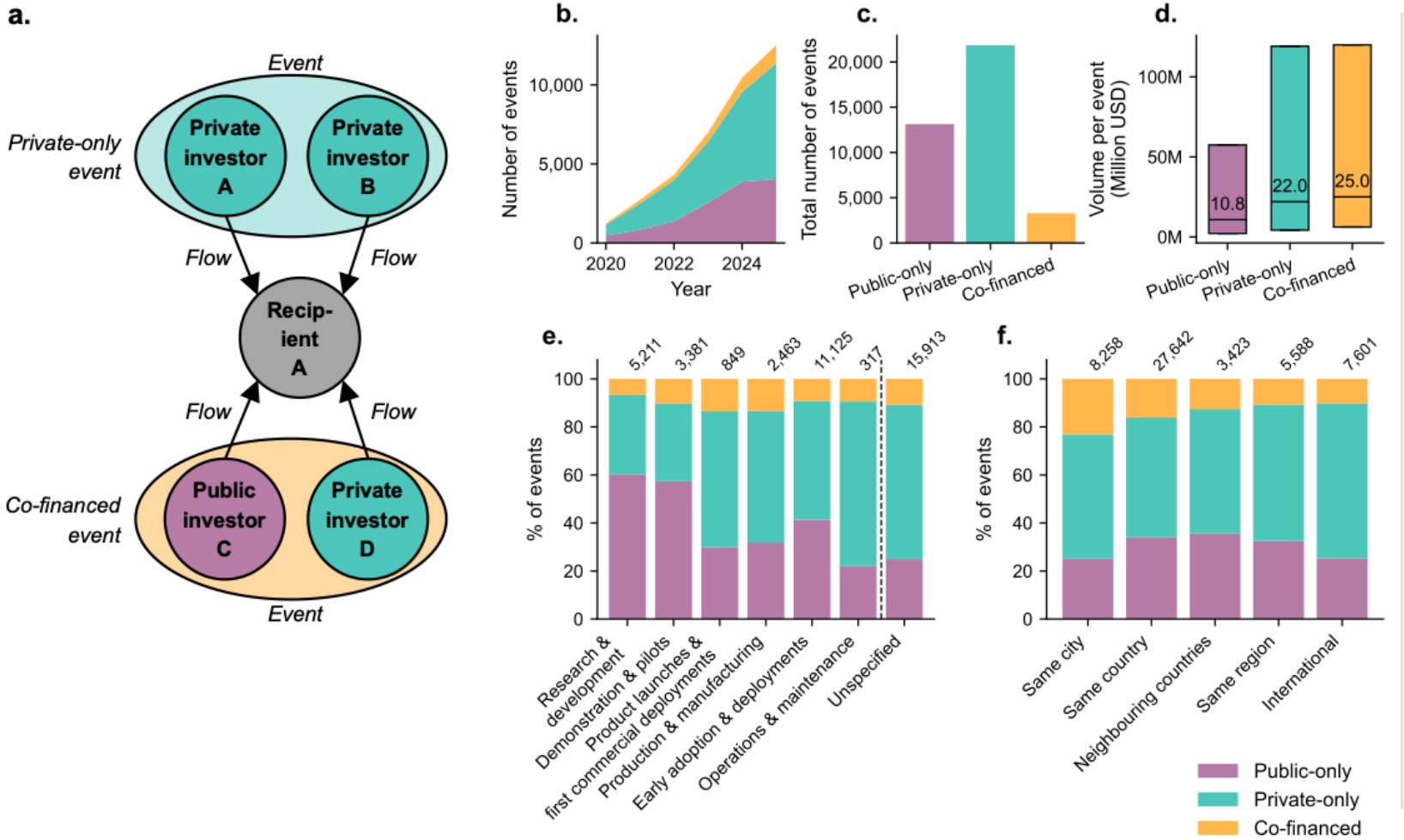
Lehofer, Egli, Toetzke (2026)



Fluxos financeiros globais para tecnologias climáticas (2020—2025)

Lehofer, Egli, Toetzke (2026)

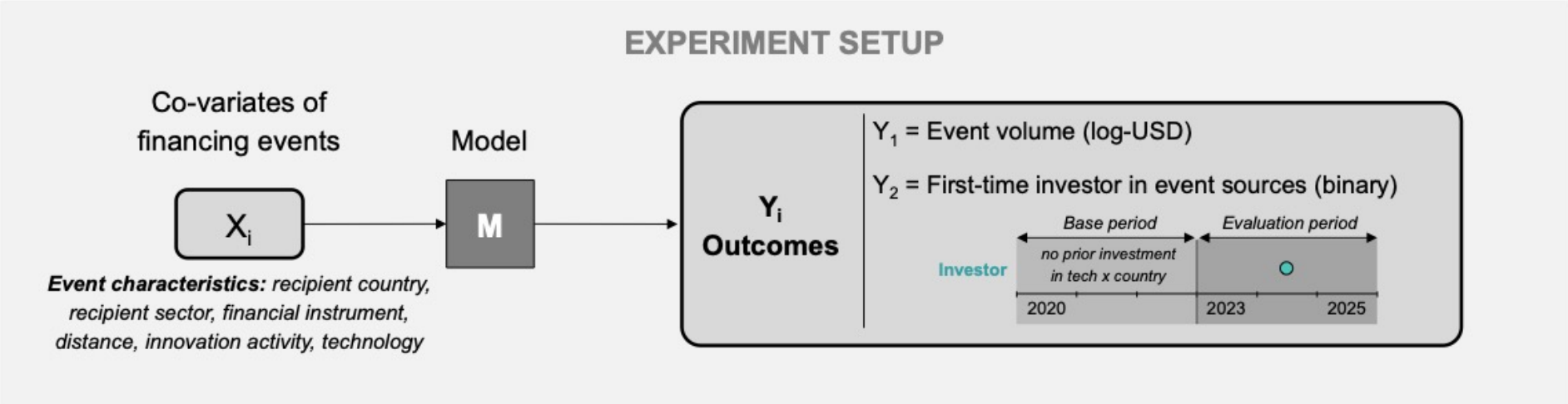
Extraímos 100.000 fluxos financeiros em tecnologia climática de mais de 31 milhões de posts de empresas

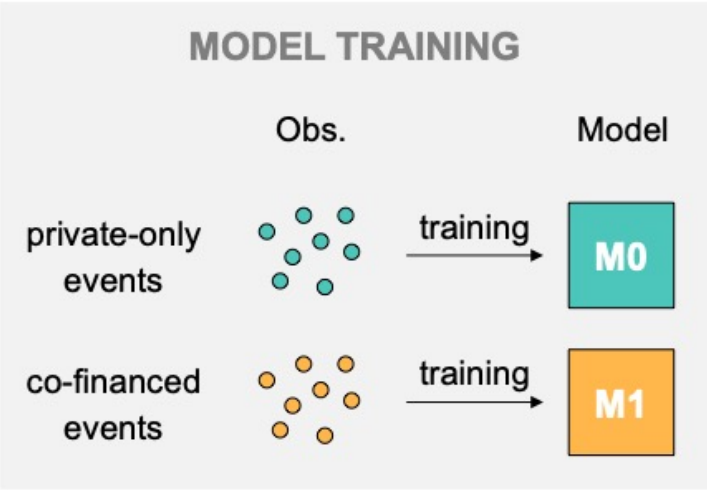


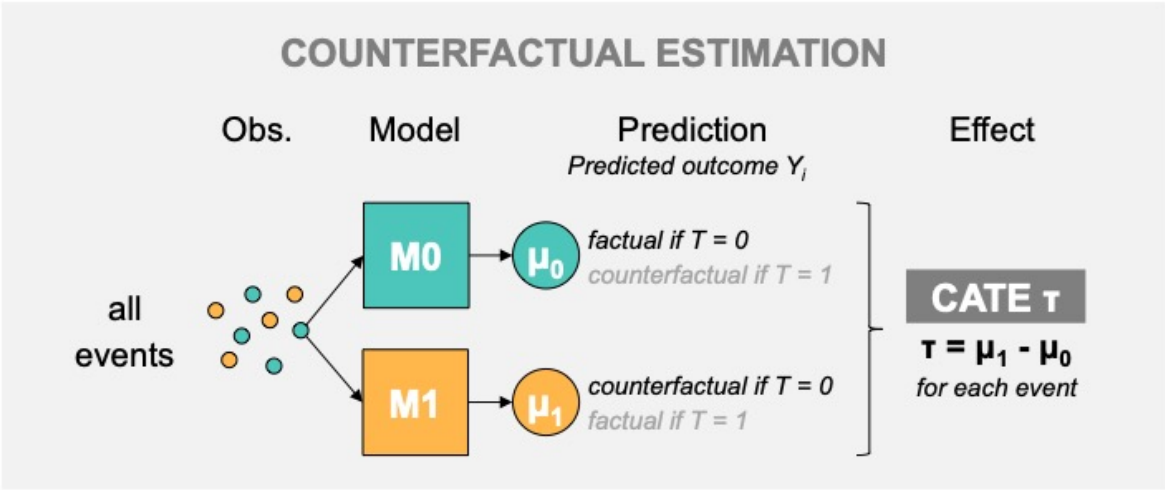
- O cofinanciamento público mobiliza **novos investidores**? …que de outro modo não investiriam
- O cofinanciamento público gera **aportes maiores**? …ou desloca o investimento privado?

Lehofer, Egli, Toetzke (2026)

Usamos IA para estimar resultados contrafactuais





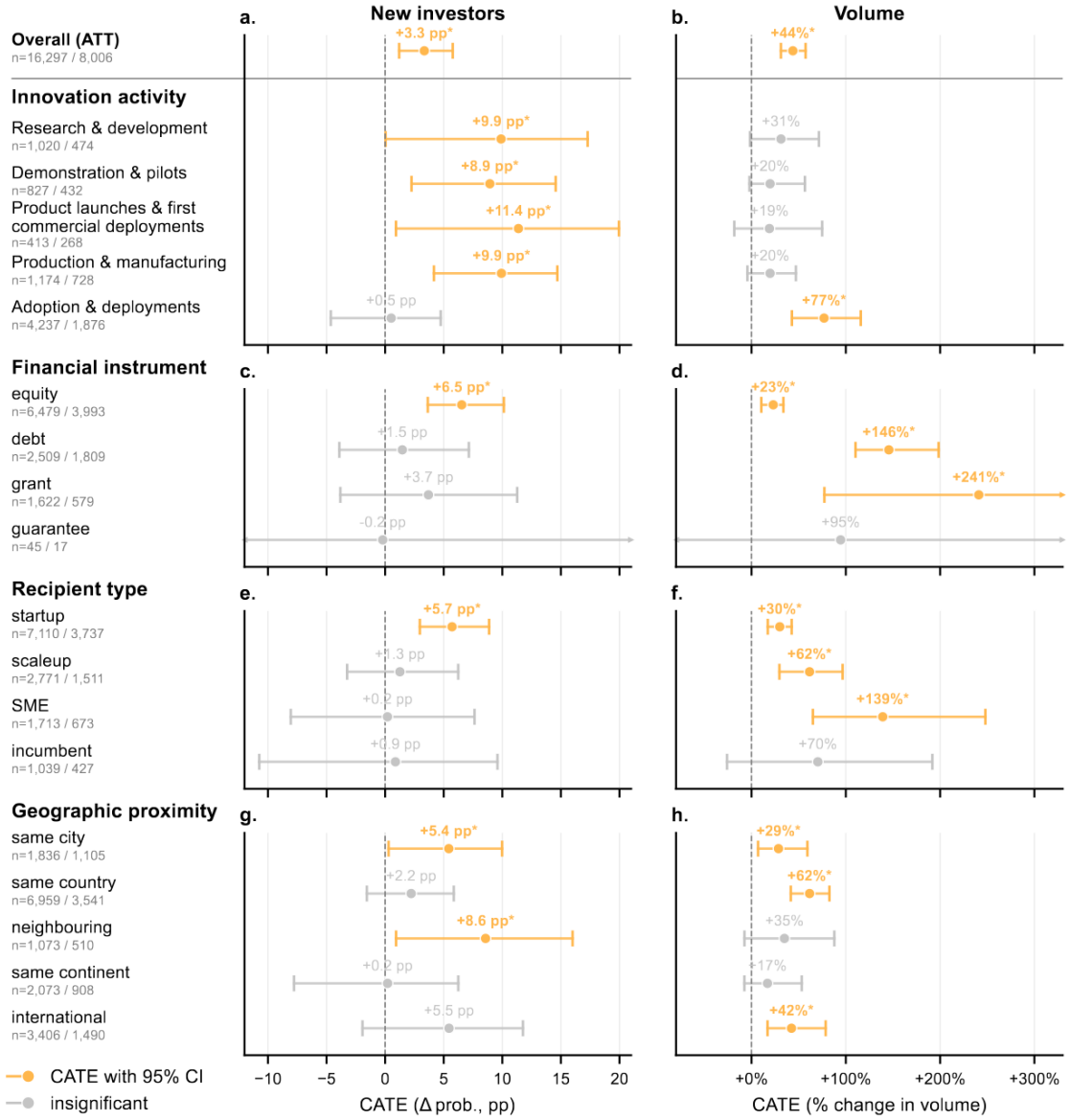


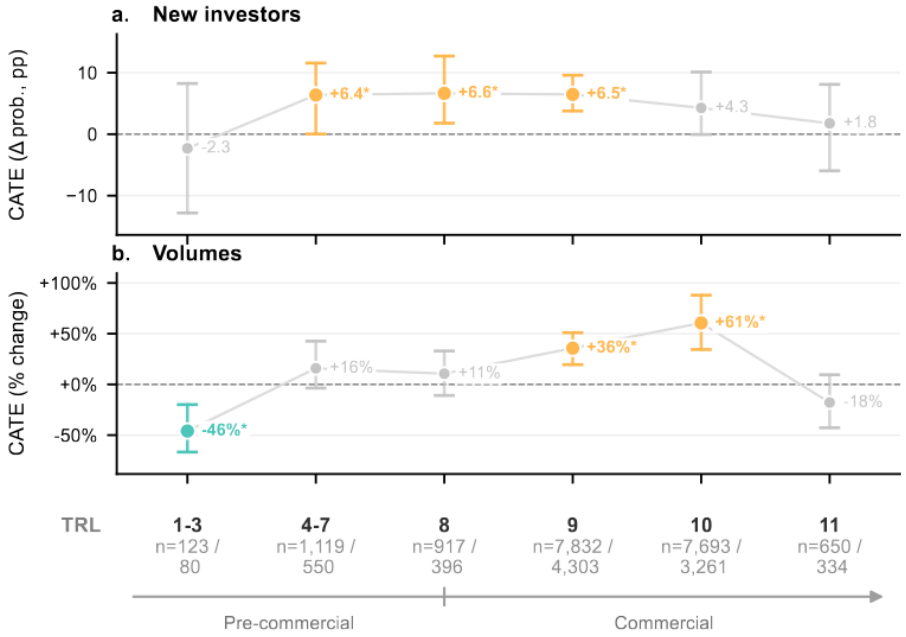
Modelo de referência:
Árvore de decisão com gradient boosting (Ke, 2017)

Teste de robustez:
Floresta causal (Athey, 2019)

Lehofer, Egli, Toetzke (2026)

O cofinanciamento mobiliza novos investidores em estágios de inovação diferentes daqueles em que mobiliza volumes maiores





Grupo de TRL	Estágio	Tecnologias típicas
TRL 1–3	**Pesquisa e prova de conceito**	Pesquisa básica, experimentos de laboratório e tecnologias em prova de conceito (p. ex. novas químicas de baterias, primeiros materiais de DAC).
TRL 4–7	**Desenvolvimento e demonstração**	Desenvolvimento de protótipos, plantas piloto e projetos de demonstração em condições cada vez mais realistas (p. ex. eletrolisadores de hidrogênio piloto, instalações de demonstração de CCS).
TRL 8–10	**Primeira implantação comercial**	Primeiras plantas comerciais e implantação inicial no mercado, com tecnologias comprovadas mas ainda pouco adotadas (p. ex. primeiras siderúrgicas verdes, plantas de SAF).
TRL 11	**Escala comercial e difusão**	Tecnologias maduras implantadas em escala em mercados competitivos (p. ex. solar FV, eólica onshore, baterias de íons de lítio, bombas de calor).

Contribuição, limitações e trabalhos futuros

Contribuição principal

- **Nova fonte de dados:** primeiro mapa em larga escala dos fluxos de investimento em tecnologias climáticas, incluindo o cofinanciamento público (doações, empréstimos, garantias) que as bases comerciais não captam
- **Evidência causal:** estimativas contrafactuais no nível da empresa sobre se o cofinanciamento público mobiliza capital privado
- **Direcionamento de políticas:** identifica onde o cofinanciamento funciona (TRL, instrumento, receptor, geografia)

Limitações

- **Seleção em observáveis:** as estimativas causais supõem ausência de fatores não observados nas decisões de cofinanciamento
- **Dados autodeclarados:** volumes e instrumentos vêm de posts de marketing, não de documentos auditados
- **Possíveis vieses geográficos:** os dados do LinkedIn representam algumas regiões mais que outras

Trabalhos futuros

- **Ligação com resultados:** conectar o financiamento mobilizado à implantação, a patentes e à capacidade de produção
- **Desenho de instrumentos:** quais instrumentos (garantia vs. empréstimo vs. capital) mobilizam mais capital privado por unidade de dinheiro público
- **Avaliar programas específicos voltados à mobilização de investimento privado**

Outros casos de uso de IA para analisar o financiamento da inovação em tecnologias climáticas

Aportes financeiros

Mapear e analisar a alocação de financiamento a empresas e atividades de inovação?

Qual a probabilidade de as empresas obterem financiamento?

P. ex. prever rodadas de financiamento com base em patentes, produtos etc. usando dados do Crunchbase e identificar vieses regionais (Ross et al. (2021), Ang et al. (2022))

Qual é o efeito de políticas específicas na atração de financiamento privado?

P. ex. mapear políticas de inovação nas empresas afetadas para avaliar seus efeitos no acesso a financiamento

Resultados de inovação

Mapear resultados de inovação e ligá-los aos aportes financeiros?

De quanto financiamento as empresas precisam para atingir certos resultados?

P. ex. prever aportes financeiros com base em resultados de inovação (patentes, comercialização, capacidade de produção) e outros dados da empresa

Com que rapidez as tecnologias evoluem?

P. ex. acompanhar ganhos de eficiência das tecnologias e diferenças regionais para orientar oportunidades de investimento (Way et al. (2022))

Por onde começar: dados abertos e ferramentas de IA para finanças climáticas

	A — Finanças internacionais	B — Mercados financeiros	C — Financiamento da inovação
Conjuntos de dados abertos	**OECD CRS** — 2,7 mi de descrições de projetos de ajuda ao desenvolvimento (gratuito) **AidData GCDF v3.0** — 21 mil projetos de ajuda ao desenvolvimento financiados pela China **Climate Watch** — textos e dados das contribuições nacionalmente determinadas (NDC) (CC BY) **Climate Funds Update** — fundos multilaterais	**SEC EDGAR** — texto integral das divulgações financeiras das empresas **Dados de exposição de Sautner et al.** — exposição das empresas à mudança climática **Net Zero Tracker** — panorama das metas de emissões líquidas zero **GeoAsset** — bases abertas de ativos (aço, cimento)	**Google Patents BigQuery** — códigos CPC Y02 de tecnologias verdes **IRENA** — dados de custo e capacidade renovável **Global Energy Monitor** — rastreadores de ativos por unidade
Modelos de IA ajustados, ferramentas e código	**ClimateBERT** — 16 modelos, 7 conjuntos de dados (Hugging Face) **Climate Policy Radar** — busca com PLN em políticas climáticas globais	**ClimateBERT** — 16 modelos, 7 conjuntos de dados (Hugging Face) **ChatReport** — análise de relatórios com LLM (código aberto) **CLIMADA** — motor aberto de riscos físicos	**Climate TRACE** — emissões por satélite + AM no nível de ativos (CC BY) **MIT tech rates** / **SFI PCDB** — curvas de aprendizado tecnológico

Observações importantes

1 Definições importam

- As definições das categorias afetam muito os resultados
- A automação garante consistência, não objetividade
- A discordância entre anotadores mostra se as definições são claras

2 As finanças precificam um futuro que os dados não viram

- Os resultados dos modelos podem gerar excesso de confiança sobre resultados muito incertos
- Trabalhe com cenários

3 Entenda o propósito original dos seus dados

- Os 8-K são documentos legais. Posts no LinkedIn são marketing
- Os dados podem conter ruído ou alegações falsas (greenwashing)

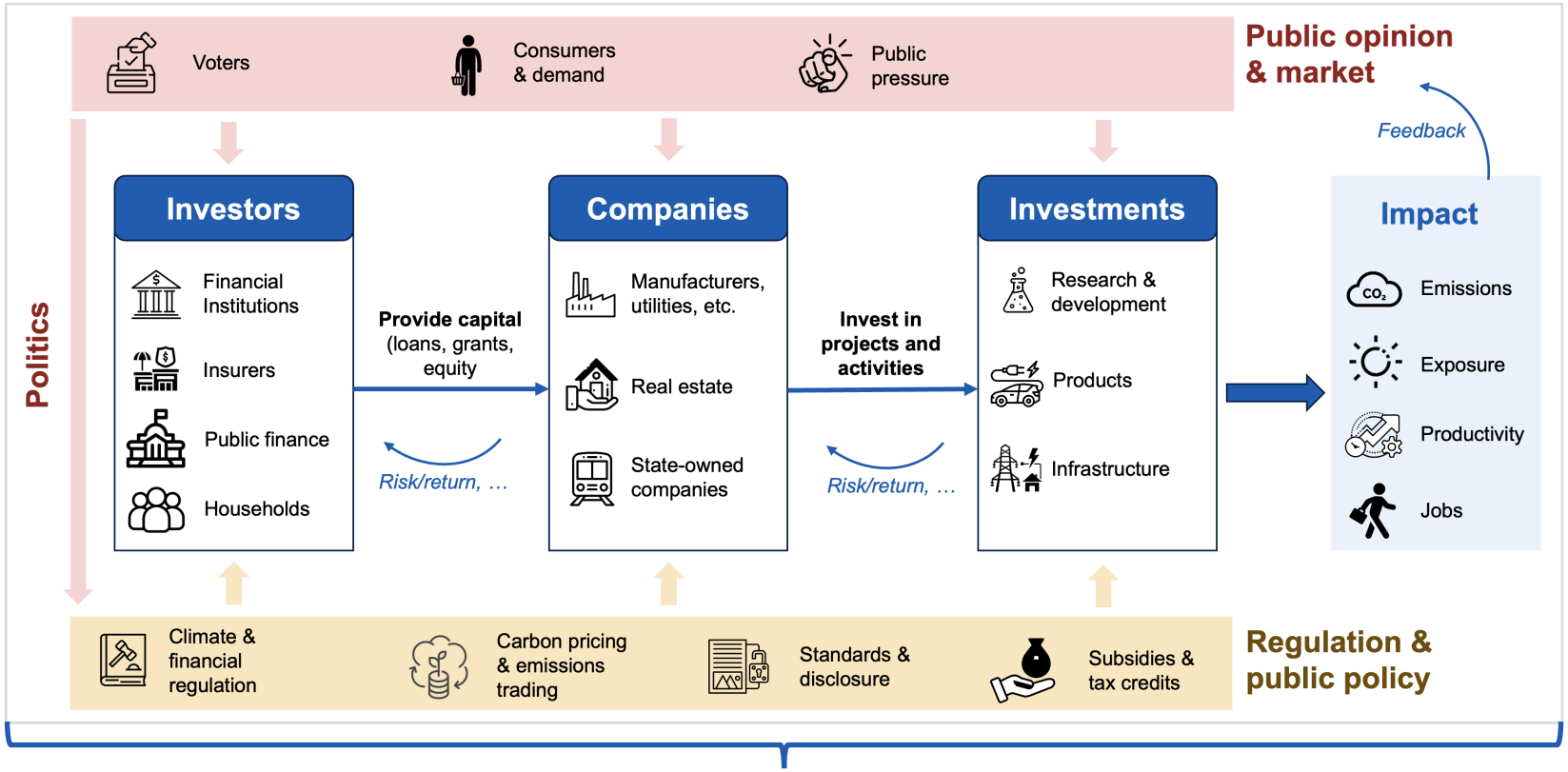
4 O que é medido reage a ser medido

- Quando uma pontuação importa, o discurso se adapta (p. ex. relato de financiamento climático)
- Prefira sinais caros de falsificar (p. ex. patentes, dados financeiros)

Sempre valide as informações extraídas e as previsões com

- Outros conjuntos de dados
- Hipóteses de especialistas
- Resultados reais

Onde os resultados se contradizem e por quê?



- **Mapear lacunas de financiamento:** para onde vai o financiamento e onde ele ainda falta?
- **Embasar decisões de financiamento:** quais empresas, tecnologias ou projetos são bons ou maus investimentos?
- **Avaliar o impacto dos investimentos:** quais investimentos geram mais implantação, redução de emissões ou resiliência?

Obrigado!

Malte Toetzke
Pesquisador de pós-doutorado, TU Munique
Pesquisador sênior, Instituto Max Planck de Inovação e Concorrência

malte.toetzke@tum.de
TUM School of Social Sciences and Technology
Augustenstr. 40 | 80333 Munich | Germany
Site: maltetoetzke.com

Referências

Addoum, J., Ng, D., Ortiz-Bobea, A. (2020). Temperature Shocks and Establishment Sales. Review of Financial Studies 33(3).

Ang, Y. Q., Chia, A., Saghafian, S. (2022). Using Machine Learning to Demystify Startups' Funding, Post-Money Valuation, and Success. In: Innovative Technology at the Interface of Finance and Operations, Springer.

Athey, S., Tibshirani, J., Wager, S. (2019). Generalized Random Forests. Annals of Statistics 47(2).

Barrot, J.-N., Sauvagnat, J. (2016). Input Specificity and the Propagation of Idiosyncratic Shocks in Production Networks. Quarterly Journal of Economics 131(3).

Bingler, J., Kraus, M., Leippold, M., Webersinke, N. (2022). Cheap Talk and Cherry-Picking: What ClimateBert Has to Say on Corporate Climate Risk Disclosures. Finance Research Letters 47.

Climate Policy Initiative (2024). Global Landscape of Climate Finance 2024.

Cohen, L., Gurun, U., Nguyen, Q. (2025). The ESG-Innovation Disconnect: Evidence from Green Patenting. Management Science.

Colesanti Senni, C., Schimanski, T., Bingler, J., Ni, J., Leippold, M. (2025). Using AI to Assess Corporate Climate Transition Disclosures. Environmental Research Communications.

Haščič, I., Migotto, M. (2015). Measuring Environmental Innovation Using Patent Data (ENV-TECH). OECD Environment Working Papers No. 89.

IPCC (2022). Climate Change 2022: Mitigation. AR6 WGIII, Ch. 15 (Investment and Finance).

Ke, G., et al. (2017). LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree. NeurIPS 30.

Krueger, P., Sautner, Z., Starks, L. (2020). The Importance of Climate Risks for Institutional Investors. Review of Financial Studies 33(3).

Kruttli, M., Roth Tran, B., Watugala, S. (2025). Pricing Poseidon: Extreme Weather Uncertainty and Firm Return Dynamics. Journal of Finance 80.

Künzel, S., Sekhon, J., Bickel, P., Yu, B. (2019). Metalearners for Estimating Heterogeneous Treatment Effects Using Machine Learning. PNAS 116(10).

Lehofer, C., Egli, F., Toetzke, M. (2026). Public–private co-financing can mobilize private investments in climate technologies. On request.

Pankratz, N., Bauer, R., Derwall, J. (2023). Climate Change, Firm Performance, and Investor Surprises. Management Science 69(12).

Pankratz, N., Schiller, C. (2024). Climate Change and Adaptation in Global Supply-Chain Networks. Review of Financial Studies 37(6).

Ross, G., Das, S., Sciro, D., Raza, H. (2021). CapitalVX: A Machine Learning Model for Startup Selection and Exit Prediction. Journal of Finance and Data Science 7.

Sautner, Z., van Lent, L., Vilkov, G., Zhang, R. (2023). Firm-Level Climate Change Exposure. Journal of Finance 78(3).

Schimanski, T., Gostlow, G., Toetzke, M., Leippold, M. (2024). What Firms Actually Lose (and Gain) from Extreme Weather Event Impacts. Working paper (SSRN).

Stroebel, J., Wurgler, J. (2021). What Do You Think about Climate Finance? Journal of Financial Economics 142(2).

Toetzke, M., Stünzi, A., Egli, F. (2022). Consistent and Replicable Estimation of Bilateral Climate Finance. Nature Climate Change 12.

Toetzke, M., Probst, B., Feuerriegel, S., Diaz Anadon, L., Hoffmann, V. H. (2024). Analyzing the Dynamics of Innovation Networks in Climate Technologies Using Large Language Models. Working paper (SSRN).

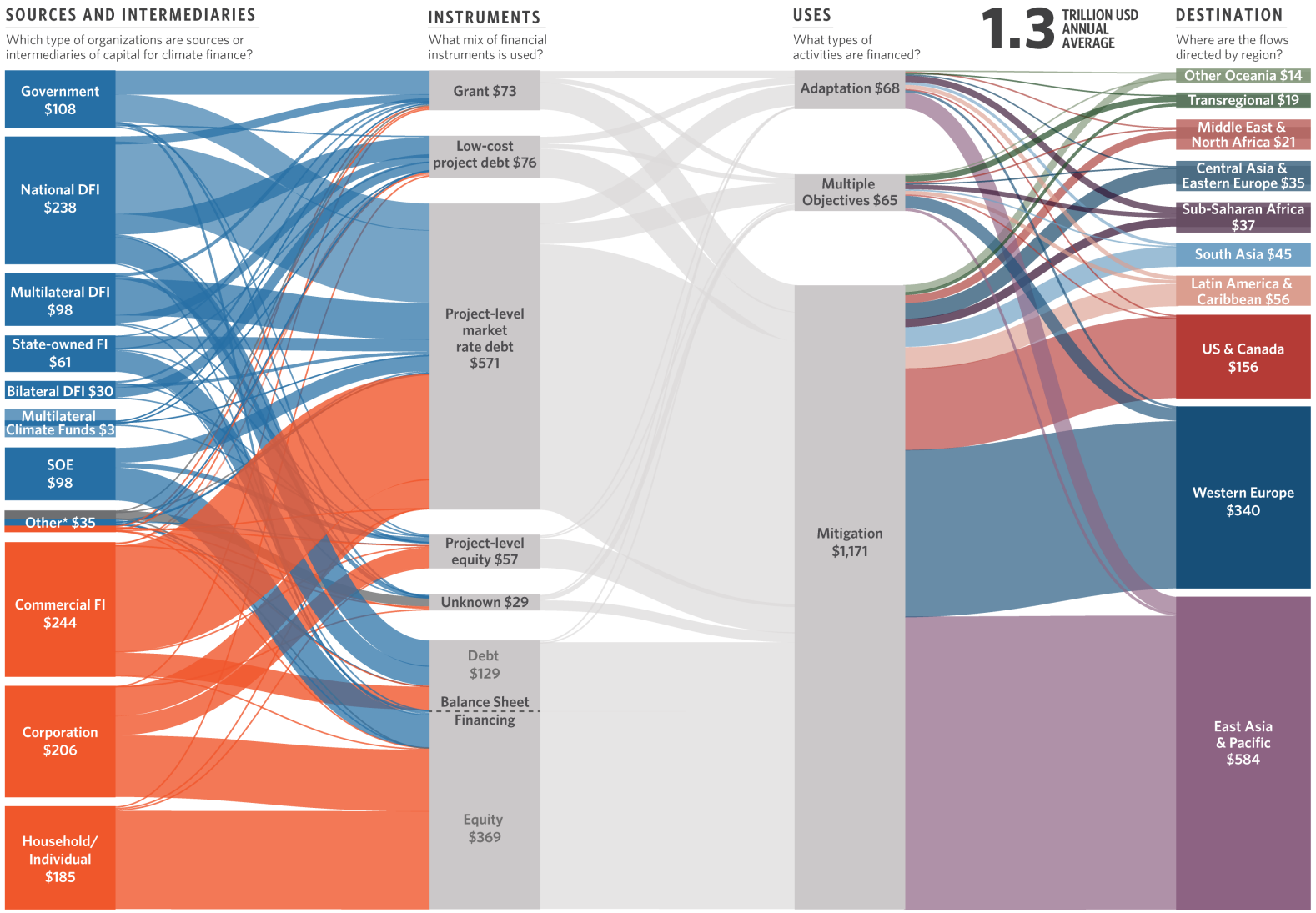
UNEP (2023). Adaptation Gap Report 2023.

LANDSCAPE OF CLIMATE FINANCE IN 2021/2022

Global climate finance flows along their life cycle in 2021 and 2022. Values are averages of two years' data to smooth out fluctuations, in USD billions

CLIMATE POLICY INITIATIVE

1.3 TRILLION USD ANNUAL AVERAGE



"Other" public sources include export credit agencies and unknown public funds
"Other" private sources include institutional investors, funds, and unknown

Source: Climate Policy Initiative

O setor privado é essencial:

Mais da metade do financiamento climático vem de fontes privadas

Rentabilidade e risco importam:

A grande maioria do financiamento climático é baseada em dívida (empréstimos)

A adaptação ainda é pequena:

Menos de 10% do financiamento climático vai para adaptação

Os países em desenvolvimento são subfinanciados:

Menos de 25% do financiamento climático chega a mercados emergentes* e PMDs

*excluindo a China