Enfrentando a mudança climática com aprendizado de máquina

Escola de verão virtual Climate Change AI 2026

Maria João Sousa, David Rolnick, Priya L. Donti

Climate Change AI

Roteiro da aula

Por quê	Enquadramento: mudança climática e ação climática
O quê	Enquadramento: IA e aprendizado de máquina (AM)
O quê	Papéis tecnológicos da IA para a ação climática
Como	Considerações para desenvolvimento e implantação
Quais	Abordagens de aprendizado de máquina para problemas climáticos
Como	Boas práticas em destaque: abordagens, recursos e ferramentas

A mudança climática exige ação rápida

Os impactos são sentidos no mundo todo

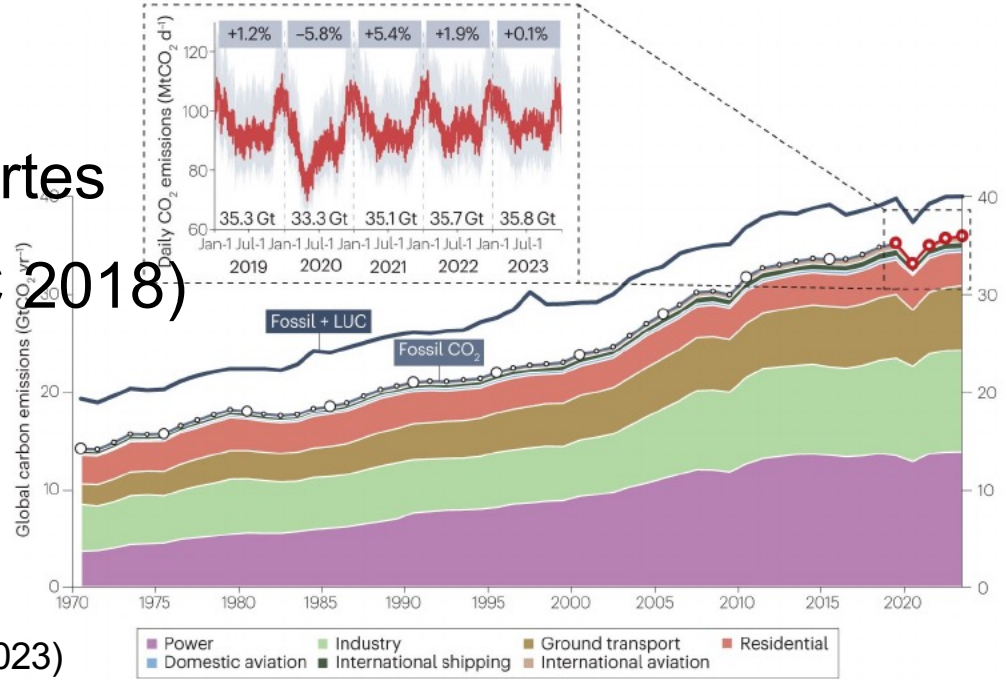


Afeta de forma desproporcional
as populações mais vulneráveis

Limitar o aquecimento a 1,5 °C:

- exige emissões líquidas zero de CO_2 e cortes profundos em outros GEE até 2050 (IPCC 2018)

As emissões ainda aumentam a cada ano



Fonte da imagem: Liu et al (2023)

💬Digite sua resposta no chat do Zoom

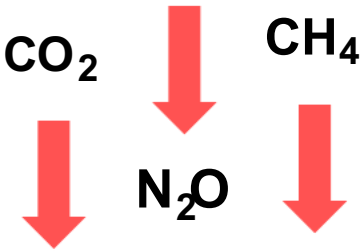
Cite um exemplo de abordagem para enfrentar a mudança climática.

Fique à vontade para escolher um exemplo especialmente relevante para seu país ou contexto local.

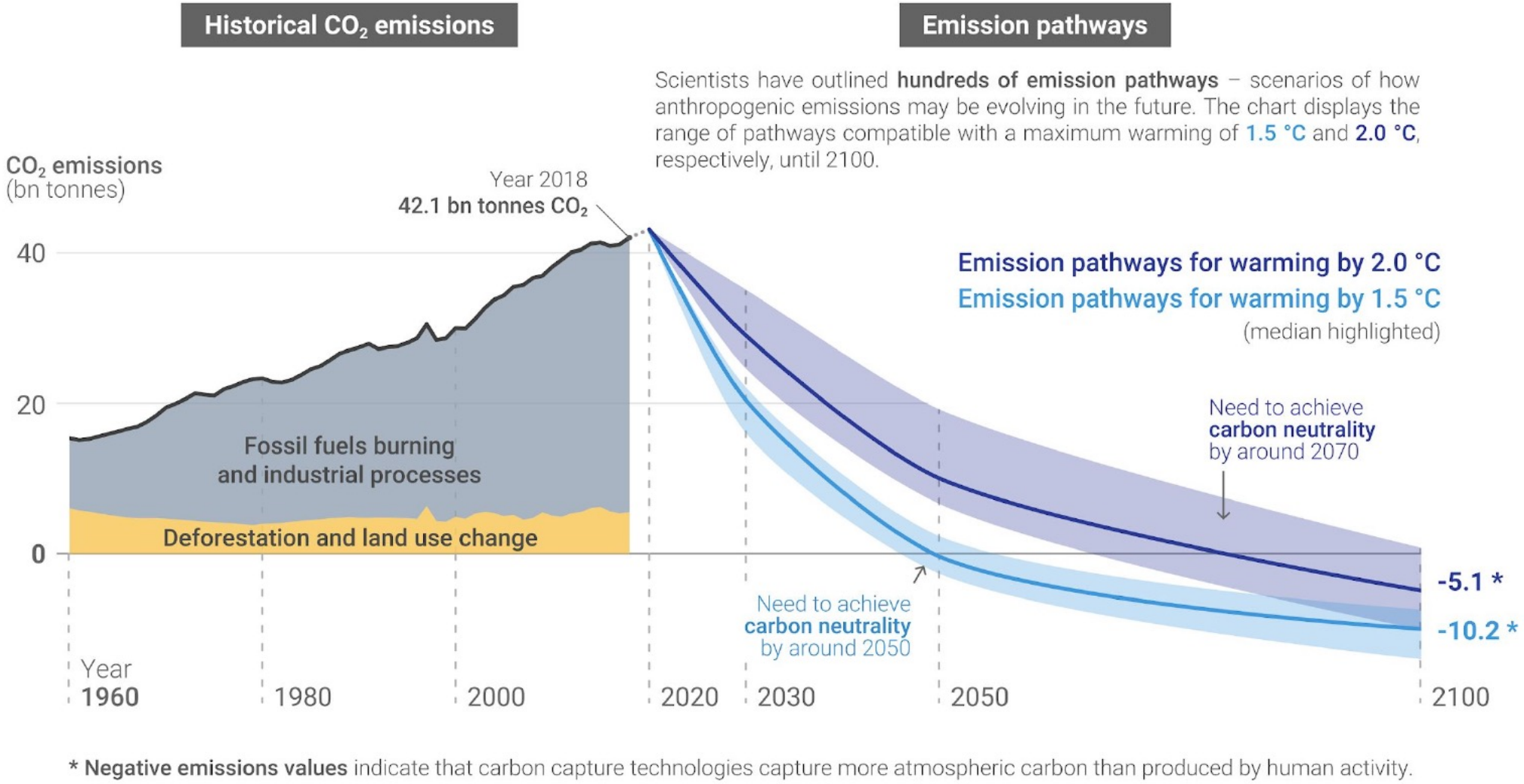
O que significa enfrentar a mudança climática

Mitigação Ações que reduzem o ritmo da mudança climática

Reduzir ou evitar emissões de gases de efeito estufa



Caminho para limitar o aquecimento global a 1,5 °C?



Fonte: factsonclimate.org/emission-pathways-paris

Setores da mitigação da mudança climática

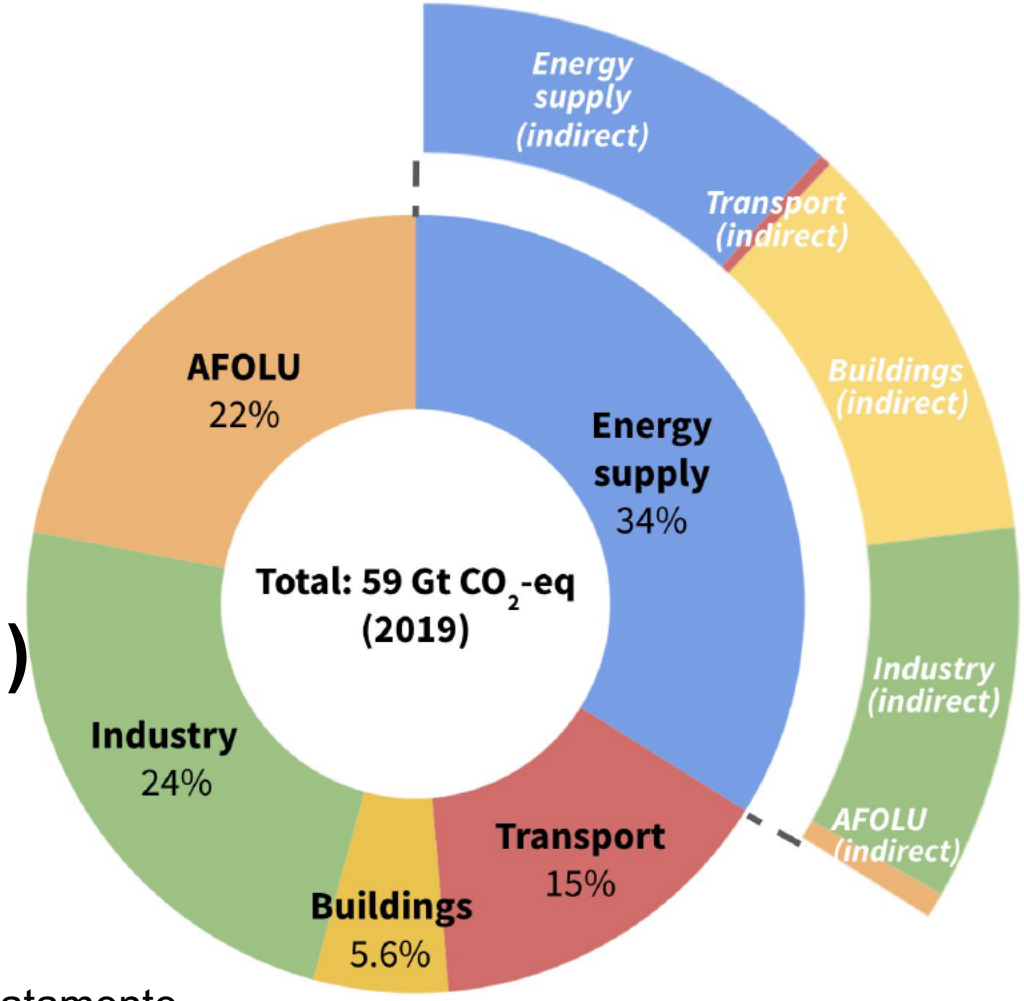
Mitigação: reduzir/evitar emissões de GEE

Setores
Oferta de energia
Transportes
Edificações
Indústria
Agricultura
Florestas
Outros usos da terra
Remoção de CO_2

Emissões de energia

Emissões do uso da terra (AFOLU)

Emissões negativas

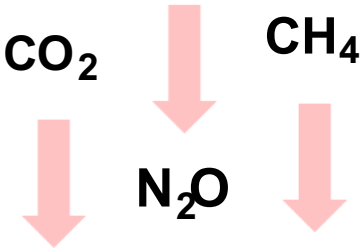


Dados do relatório AR6 GT3 do IPCC (2022). Os percentuais não somam exatamente 100% devido ao arredondamento para dois algarismos significativos.

O que significa enfrentar a mudança climática

Mitigação — Ações que reduzem o ritmo da mudança climática

Reduzir ou evitar emissões de gases de efeito estufa



Adaptação — Ações que respondem a um clima em mudança

Preparar-se e ajustar-se tanto aos efeitos atuais da mudança climática quanto aos impactos futuros previstos



Ciência — Ações que melhoram a compreensão da mudança climática

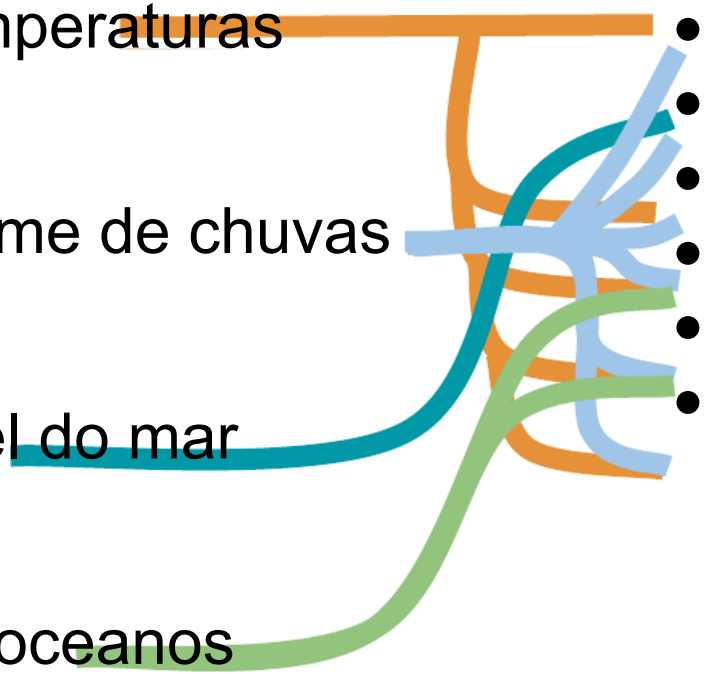
A mudança climática não é um interruptor, mas atingir **pontos de inflexão pode ter consequências irreversíveis**



Impactos climáticos e efeitos derivados

Impactos climáticos

- Aumento das temperaturas
- Mudança no regime de chuvas
- Elevação do nível do mar
- Acidificação dos oceanos



Efeitos derivados

- Secas e ondas de calor
- Tempestades e enchentes mais intensas
- Incêndios florestais mais frequentes
- Perda de serviços ecossistêmicos
- Perda de biodiversidade
- Disseminação de vetores de doenças e pragas

Figura adaptada de Kris Sankaran

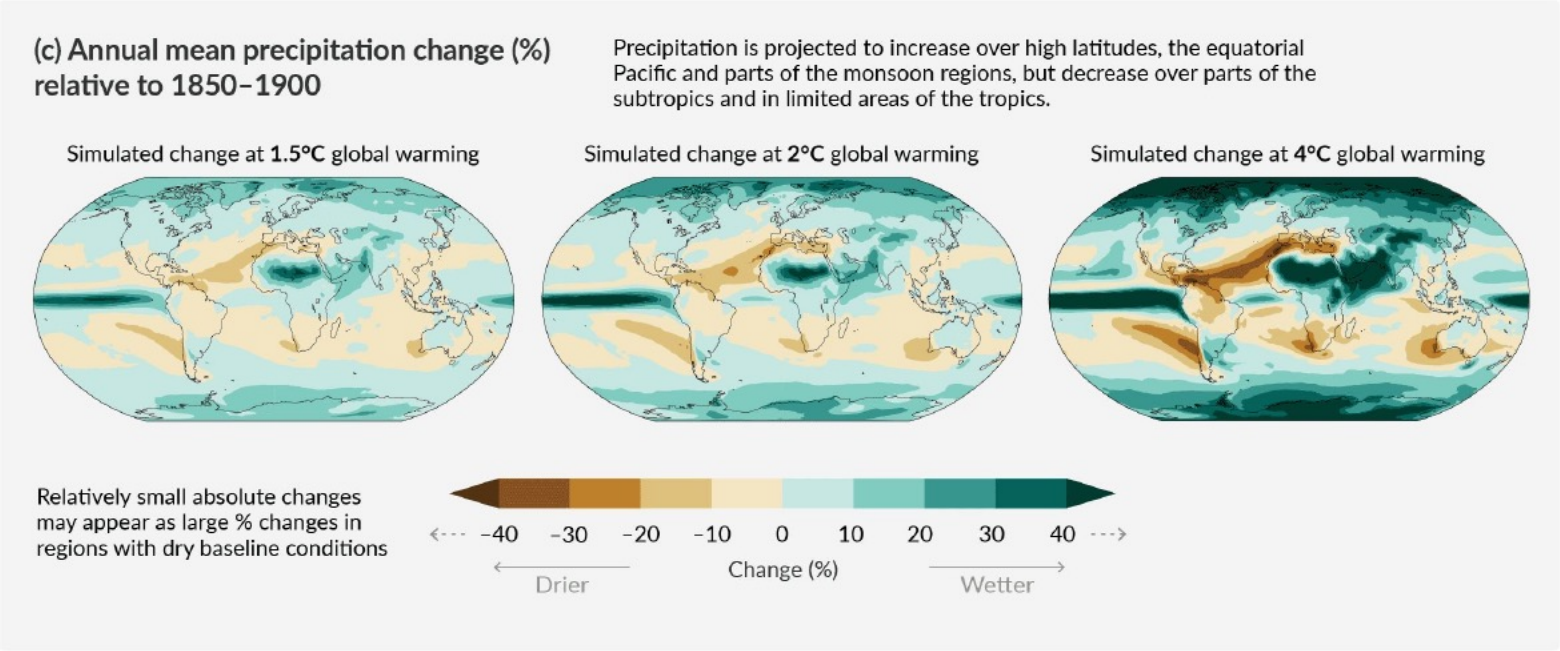
Adaptação à mudança climática

Adaptação: responder aos efeitos de um clima em mudança

Adaptação à mudança climática

Adaptação: responder aos efeitos de um clima em mudança

1. Medir e prever riscos
   - Risco: impacto x probabilidade



Fonte da figura: IPCC AR6, Sumário para Formuladores de Políticas (2021)

Adaptação à mudança climática

Adaptação: responder aos efeitos de um clima em mudança

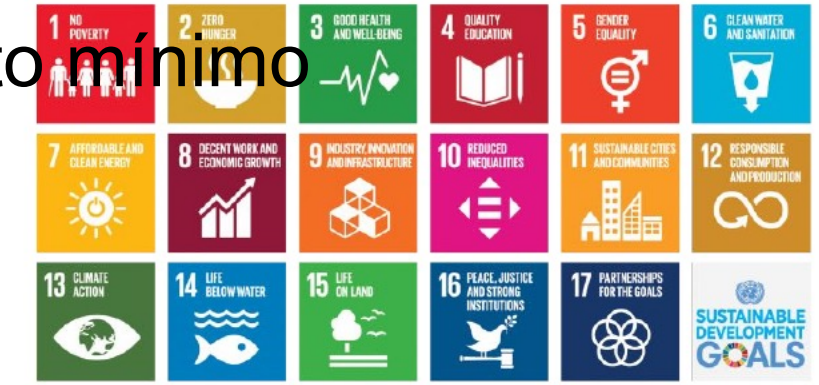
1. Medir e prever riscos
   - Risco: impacto x probabilidade

2. Fortalecer a capacidade adaptativa
   - Robustez: resistir a uma série de cenários sem impacto ou com impacto mínimo
   - Resiliência: recuperar-se rápido após um impacto

Sistemas humanos e ecológicos



Conexões com os ODS da ONU

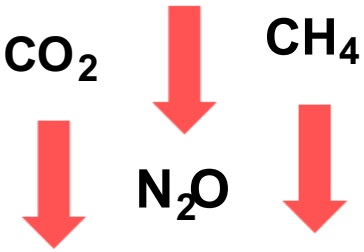


Fonte da figura (abaixo): Nações Unidas

O que significa enfrentar a mudança climática

Mitigação — Ações que reduzem o ritmo da mudança climática

Reduzir ou evitar emissões de gases de efeito estufa



Adaptação — Ações que respondem a um clima em mudança

Preparar-se e ajustar-se tanto aos efeitos atuais da mudança climática quanto aos impactos futuros previstos



Ciência — Ações que melhoram a compreensão da mudança climática

A mudança climática não é um interruptor, mas atingir **pontos de inflexão pode ter consequências irreversíveis**



O que significa garantir futuros climáticos socialmente justos

Justiça climática Ações que promovem uma ação climática centrada na equidade

Além dos impactos ambientais, há também questões sociais, éticas e políticas em jogo, o que exige colocar a equidade e os direitos humanos no centro da ação climática

Cobenefícios Ações alinhadas ao desenvolvimento humano e à prosperidade econômica

Estabelecer vínculos explícitos entre a ação climática e os demais Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU



Fonte da imagem: Leal Filho et al. (2023)



Benjamin Cook

Research Scientist, NASA Goddard Institute for Space Studies and Columbia University

Aula fundamental: introdução à mudança climática

Sexta-feira, 24 de julho (14h-16h UTC)



Clara Iglesias

Climate Interactive

Tutorial: simulando futuros climáticos no En-ROADS

Assíncrono

Roteiro da aula

Por quê	**Enquadramento: mudança climática e ação climática**
O quê	**Enquadramento: IA e aprendizado de máquina (AM)**
O quê	**Papéis tecnológicos da IA para a ação climática**
Como	**Considerações para desenvolvimento e implantação**
Quais	**Abordagens de aprendizado de máquina para problemas climáticos**
Como	**Boas práticas em destaque: abordagens, recursos e ferramentas**

O que é IA?

Inteligência artificial (IA): qualquer algoritmo que permite a uma máquina realizar uma tarefa complexa (p. ex. tarefas associadas à inteligência humana)

Sistemas baseados em regras: técnicas que raciocinam automaticamente sobre um conjunto explícito de regras

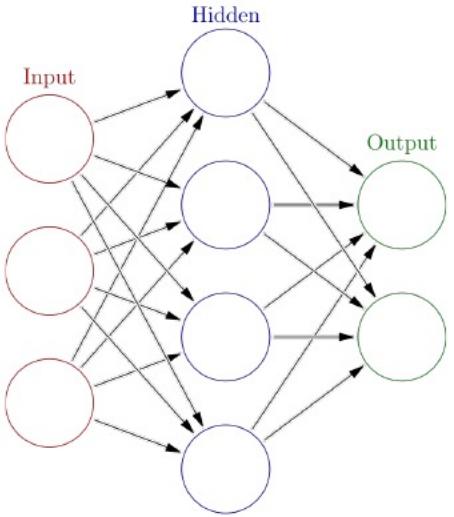


Aprendizado de máquina (AM): técnicas que extraem automaticamente padrões dos dados

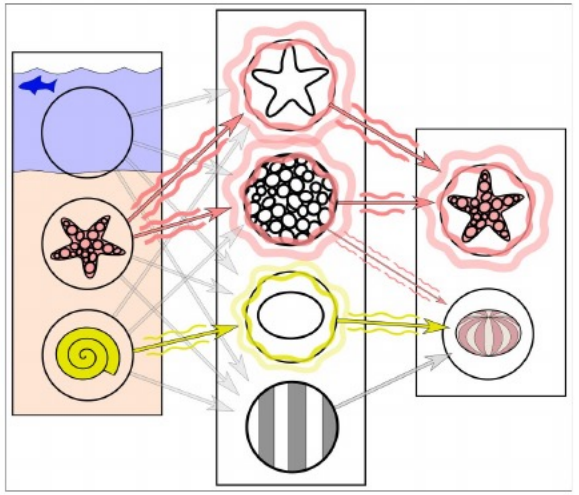


O que é um modelo de AM?

O modelo consiste em parâmetros e em uma estrutura que, juntos, transformam entradas em saídas



O “aprendizado” significa que esses parâmetros são ajustados no treinamento para produzir um “modelo aprendido” capaz de realizar uma tarefa



💬Digite sua resposta no chat do Zoom

Cite um exemplo de modelo ou abordagem de aprendizado de máquina.

Formas de classificar algoritmos de aprendizado de máquina

1. Que tipo de dados?

- imagens (visão computacional)
- texto (processamento de linguagem natural)
- sequências (análise de séries temporais)
- … muitas outras possibilidades / subtipos de dados
- vários tipos de dados juntos (aprendizado multimodal)

2. Que tipo de problema?

- classificação
- previsão
- agrupamento
- otimização
- controle
- geração / simulação
- …

3. Que tipo de modelo?

- redes neurais = aprendizado profundo
- métodos bayesianos
- árvores de decisão
- máquinas de vetores de suporte
- …

Formas de classificar algoritmos de aprendizado de máquina

1. Que tipo de dados?

- **imagens (visão computacional)**
- texto (processamento de linguagem natural)
- sequências (análise de séries temporais)
- … muitas outras possibilidades / subtipos de dados
- vários tipos de dados juntos (aprendizado multimodal)

2. Que tipo de problema?

- **classificação**
- previsão
- agrupamento
- otimização
- controle
- geração / simulação
- …

3. Que tipo de modelo?

- **redes neurais = aprendizado profundo**
- métodos bayesianos
- árvores de decisão
- máquinas de vetores de suporte
- …

Exemplo:

Rede residual (ResNet)

Formas de classificar algoritmos de aprendizado de máquina

1. Que tipo de dados?

- **imagens (visão computacional)**
- **texto (processamento de linguagem natural)**
- sequências (análise de séries temporais)
- … muitas outras possibilidades / subtipos de dados
- vários tipos de dados juntos (aprendizado multimodal)

2. Que tipo de problema?

- classificação
- previsão
- agrupamento
- otimização
- controle
- **geração / simulação**
- …

3. Que tipo de modelo?

- **redes neurais = aprendizado profundo**
- métodos bayesianos
- árvores de decisão
- máquinas de vetores de suporte
- …

Exemplo:

Modelo de difusão

Formas de classificar algoritmos de aprendizado de máquina

1. Que tipo de dados?

- imagens (visão computacional)
- texto (processamento de linguagem natural)
- sequências (análise de séries temporais)
- … muitas outras possibilidades / subtipos de dados
- vários tipos de dados juntos (aprendizado multimodal)

2. Que tipo de problema?

- **classificação**
- **previsão**
- agrupamento
- otimização
- controle
- geração / simulação
- …

3. Que tipo de modelo?

- Redes neurais = aprendizado profundo
- Métodos bayesianos
- **Árvores de decisão**
- Máquinas de vetores de suporte
- …

Exemplo:

Floresta aleatória



Tẹjúmádé Àfọ̀njá

PhD Candidate,
CISPA Helmholtz Center |
Co-founder, TRI AI

Aula fundamental: introdução à IA

Quinta-feira, 23 de julho (14h-16h UTC)



Tarini Bhatnagar

NVIDIA

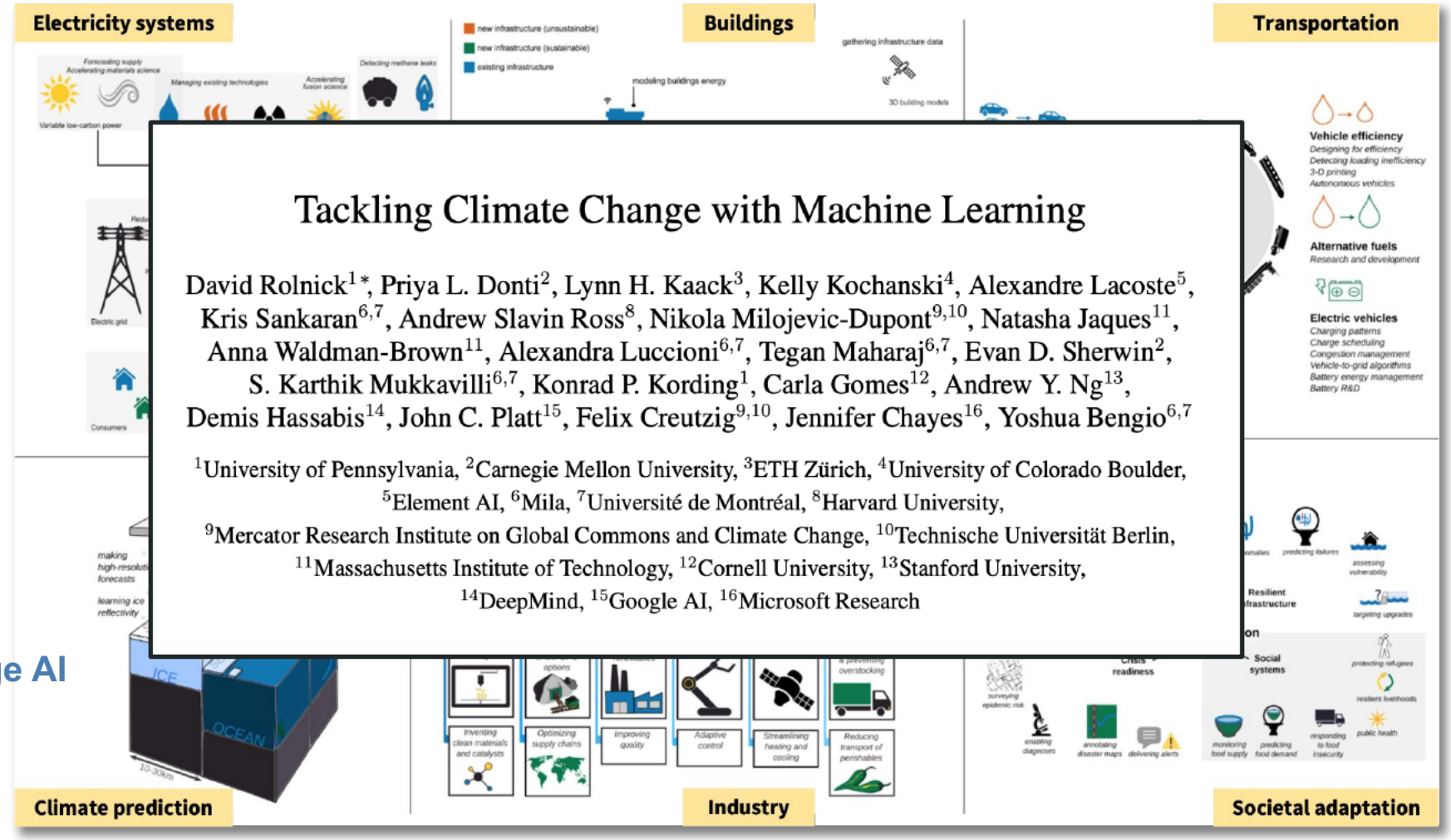
Tutorial: introdução à IA - prevendo alertas de tsunami a partir de observações sísmicas

Assíncrono, com vídeo explicativo

Roteiro da aula

Por quê	**Enquadramento: mudança climática e ação climática**
O quê	**Enquadramento: IA e aprendizado de máquina (AM)**
O quê	**Papéis tecnológicos da IA para a ação climática**
Como	**Considerações para desenvolvimento e implantação**
Quais	**Abordagens de aprendizado de máquina para problemas climáticos**
Como	**Boas práticas em destaque: abordagens, recursos e ferramentas**

A tecnologia de IA pode viabilizar estratégias que acelerem a ação climática quando aplicada de forma responsável, em parceria com as partes interessadas relevantes.



Relatório da Climate Change AI
Tackling Climate Change with Machine Learning (2019)

Energy, Materials, & Built Environment



AI for Power & Energy Systems

Jose Córdova-García

European School of Political and Social Sciences



AI for Buildings

Nipun Batra

Indian Institute Of Technology Gandhinagar



AI for Cities & Urban Planning

Binyu Lei

University of Birmingham

AI for Optimal Power Flow

Enming Liang (City University of Hong Kong), Jorge Montalvo, Utkarsha Agwan, Panos Moutis (City College of New York)





AI for Transportation

Cathy Wu

Massachusetts Institute of Technology



AI for Accelerated Materials Science

Francisco J. Martin-Martinez

King's College London

CityLearn: Reinforcement Learning Control for Grid-Interactive Efficient Buildings and Communities

Kingsley Nweye, Allen Wu, Hyun Park, Yara Almilaify (University of Texas at Austin), Ava Mohammadi, Zoltan Nagy (Eindhoven University of Technology)



Predicting Mobility Demand from Urban Features

Developed by Konstantin Klemmer, Shafat Rahman, Felix Wagner, Florian Nachtigall (TU Berlin, MCC Berlin); revised by Gabriela Yaulli Herrera (Cornell Tech)



Earth & Climate Systems



AI for Climate Science

Claire Monteleoni

University of Colorado Boulder, Inria, Climate Informatics





AI for Weather

Rendani Mbuvha (University of the Witwatersrand, AfriClimate AI) and
Shruti Nath (University of Oxford, AfriClimate AI)



AI for Oceans & Marine Systems

Maike Sonnewald

University of California Davis

Planning for Floods & Droughts: Intro to AI-Driven Hydrological Modeling

Kshitij Tayal (Oak Ridge National Labs), Arvind Renganathan (University of Minnesota), Siyan Liu (Oak Ridge National Labs), Dan Lu (Oak Ridge National Labs), Puja Das (MIT)







Monitoring Coastal Water Quality and Marine Ecosystem Change Using Remote Sensing and Machine Learning

Tedi Yankov (University of Oxford)





AI for Water Resources and Hydrology

Nagesh Kumar

Indian Institute of Science



AI for Carbon Accounting

Daniel Cusworth

Carbon Mapper

Statistical Downscaling of Climate Projections with Deep Learning

Jose González-Aba (Instituto de Física de Cantabria)



PiggyCast - Improving Weather Prediction Accuracy through a Stacking-Based Ensemble AI Approach

Josiah Kimani (AIMS South Africa), Oliver Angélil (Ishango.ai), Chris Toumping (Ishango.ai), Steffen Knoblauch (Heidelberg University)






Estimating Coal Power Plant Operation from Satellite Images with CV

André Ferreira (TransitionZero), Isabelle Tingzon (RISE Research Institutes of Sweden), El Khalil Cherif (Institute For Systems and Robotics)





Land, Food, & Nature



Combining AI and Indigenous Knowledge for Climate Action

Sonajharia Minz

Jawaharlal Nehru University



AI for Agriculture and Food Security

Aliny Reis

Corvian



AI for Forestry

Silvana Amaral Kampel

INPE



AI for Biodiversity & Ecosystems

Benjamin Kellenberger

EPFL

Combining AI and Indigenous Knowledge for Climate Action: A Bird Bioacoustic Monitoring Pipeline — The Lkotkote Case Study

Developed by Douglas Mbura (Lkotkote)



Agricultural Monitoring with Fields of the World (FTW)

Developed by Hannah Kerner (Arizona State University), Caleb Robinson (Microsoft AI for Good Lab), Isaac Corley (Wherobots), Matthias Mohr (Taylor Geospatial Engine), Gedeon Muhawenayo (Arizona State University), Ivan Zvonkov (University of Maryland), Tristan Grupp (World Resources Institute), Nathan Jacobs (Washington University in St Louis)
Revised by Akram Zaytar (Microsoft AI for Good Lab)



Detecting Deforestation from Satellite Image Time Series

Developed by Eduardo Ulises Moya-Sanchez (IIEG Jalisco)



Agile Modeling for Bioacoustic Monitoring

Developed by Jenny Hamer, Rob Laber, and Tom Denton (Google DeepMind, Google)



Society, Policy & Economics



AI for Climate Finance

Malte Toetzke

TU Munich, Max Planck Institute for Innovation and Competition



AI for Public Policy

Carlos Rodriguez-Pardo

Politecnico di Milano, CMCC Foundation



AI for Social Sciences

Mary Sanford

University of Bath, CMCC Foundation

Sea Water Flood Risk Assessment in Egypt using Deep Learning, Sentinel-1 & 2, and Copernicus DEM

Developed by Casper Fibaek and Andreas Luyts (ESA Φ-lab); revised by Nirdesh Kumar Sharma (EarthSense Labs)





AI for Public Health

Joyce Nakatumba-Nabende

Makerere University, Data Science Africa



AI for Risk Assessment, Disaster Management & Relief

Mersedeh TariVerdi

The World Bank

NLP Models for Climate Policy Analysis

Daniel Spokoyny (Carnegie Mellon University), Max Callaghan (Potsdam Institute for Climate Impact Research, MCC-Berlin), Tobias Schimanski (University of Zurich)



Hands-On Outbreak Analytics: Dengue Forecasting with RAG and LLM Evaluation

Avinash Laddha (data.org)



AI for Climate Finance: Estimating Hurricane Wind Value-at-Risk from an AI Weather Ensemble

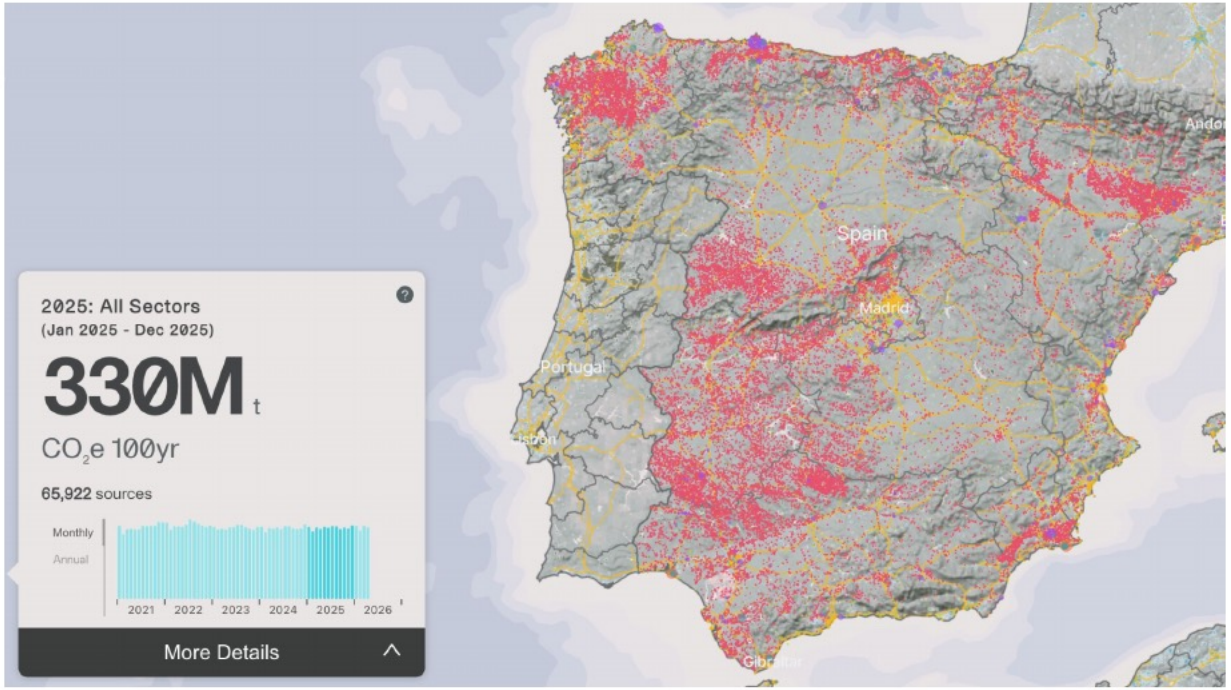
Tristan Ballard (Zeus AI)



Oportunidades nas aplicações de IA para o clima

Oportunidades nas aplicações de IA para o clima

Coletar informações
enchentes, desmatamento, infraestrutura, lavouras, biodiversidade



Fonte: Climate TRACE

Oportunidades nas aplicações de IA para o clima

Coletar informações
enchentes, desmatamento, infraestrutura, lavouras, biodiversidade

Previsão
energia renovável, demanda de transporte, eventos extremos

Forecast 4 Africa
by AfriClimate AI



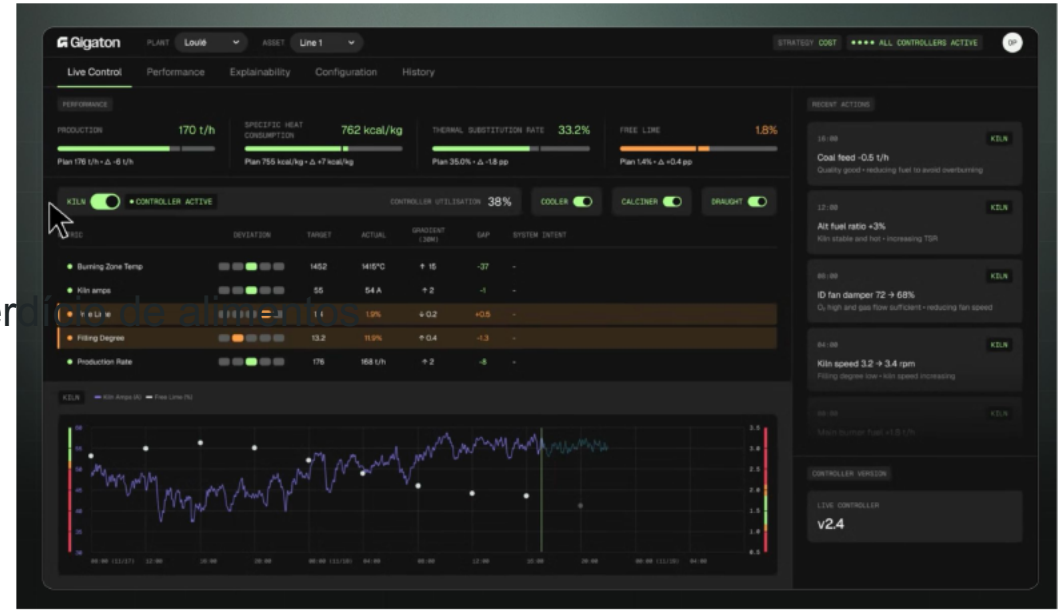
Fonte: African Farming

Oportunidades nas aplicações de IA para o clima

Coletar informações
enchentes, desmatamento, infraestrutura, lavouras, biodiversidade

Previsão
energia renovável, demanda de transporte, eventos extremos

Otimizar sistemas complexos
eletricidade e energia, aquecimento e resfriamento, frete, desperdício de alimentos



Fonte: Gigaton

Oportunidades nas aplicações de IA para o clima

Coletar informações
enchentes, desmatamento, infraestrutura, lavouras, biodiversidade

Previsão
energia renovável, demanda de transporte, eventos extremos

Otimizar sistemas complexos
eletricidade e energia, aquecimento e resfriamento, frete, desperdício de alimentos

Manutenção preditiva
vazamentos de metano, infraestrutura resiliente



Fonte: East Japan Railway Company

Oportunidades nas aplicações de IA para o clima

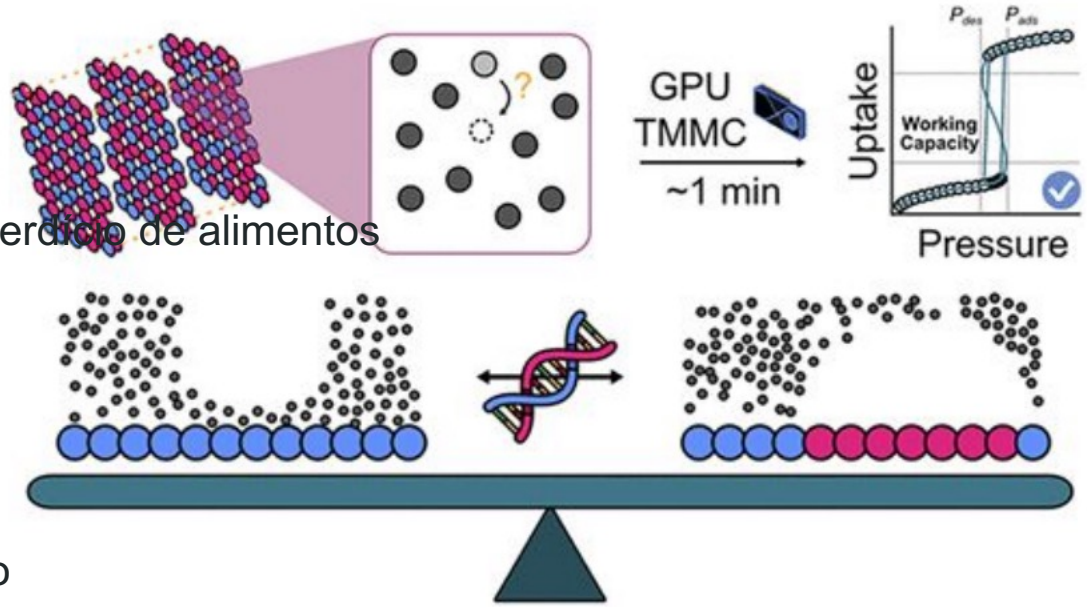
Coletar informações
enchentes, desmatamento, infraestrutura, lavouras, biodiversidade

Previsão
energia renovável, demanda de transporte, eventos extremos

Otimizar sistemas complexos
eletricidade e energia, aquecimento e resfriamento, frete, desperdício de alimentos

Manutenção preditiva
vazamentos de metano, infraestrutura resiliente

Acelerar a experimentação científica
baterias, eletrocombustíveis, catalisadores, captura de carbono



Fonte: Prelesnik et al. 2026

Oportunidades nas aplicações de IA para o clima

Coletar informações
enchentes, desmatamento, infraestrutura, lavouras, biodiversidade

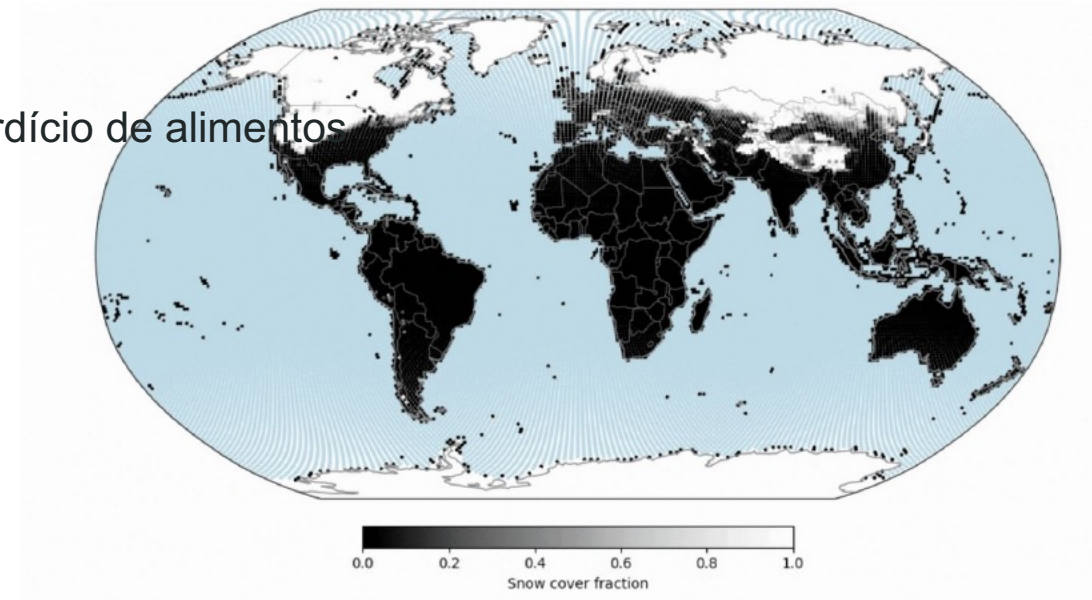
Previsão
energia renovável, demanda de transporte, eventos extremos

Otimizar sistemas complexos
eletricidade e energia, aquecimento e resfriamento, frete, desperdício de alimentos

Manutenção preditiva
vazamentos de metano, infraestrutura resiliente

Acelerar a experimentação científica
baterias, eletrocombustíveis, catalisadores, captura de carbono

Aproximar simulações demoradas
clima, energia, planejamento urbano



Fonte: ECMWF / Destination Earth

Oportunidades nas aplicações de IA para o clima

Coletar informações
enchentes, desmatamento, infraestrutura, lavouras, biodiversidade

Previsão
energia renovável, demanda de transporte, eventos extremos

Otimizar sistemas complexos
eletricidade e energia, aquecimento e resfriamento, frete, desperdício de alimentos

Manutenção preditiva
vazamentos de metano, infraestrutura resiliente

Acelerar a experimentação científica
baterias, eletrocombustíveis, catalisadores, captura de carbono

Aproximar simulações demoradas
clima, energia, planejamento urbano

Gestão de dados
pareamento, agregação, fusão e aumento de dados

Platform	Format	Version	User Types	Use Cases
PUDL Data Viewer	Parquet, CSV	`nightly`	Data Explorer, Spreadsheet Analyst, Jupyter Notebook User	Explore PUDL data interactively in a web browser, including hourly timeseries data. Select data to download as CSVs for local analysis in spreadsheets. Download full tables as Parquet files to play with programmatically.
Kaggle	SQLite, Parquet	`nightly`	Data Scientist, Data Analyst, Jupyter Notebook User	Work with PUDL data products in Jupyter Notebooks via the web with minimal setup. Explore curated and contributed analyses and visualizations using PUDL data. notebooks. Create and share your own interactive notebooks using PUDL data.
Cloud Storage	SQLite, Parquet	`nightly`, `stable`	Data Scientist, Analytics Engineer, Data Engineer, Cloud Developer	Performant remote queries of clearly versioned PUDL Parquet outputs from cloud computing platforms or GitHub Actions. Fast bulk download of SQLite or Parquet outputs for local use. Parquet based data warehouse for large-scale data analysis in the cloud. Integrates well with Pandas, DuckDB, and other dataframe libraries.
Zenodo Archives	SQLite, Parquet	`stable`	Researcher, Publisher, Archivist	Access a specific, immutable version of the PUDL data by DOI for citation in academic publications or other applications where long-term reproducibility is needed. Web-based bulk download of data for local analysis.

Fonte: Catalyst Cooperative / Public Utility Data Liberation Project

Oportunidades nas aplicações de IA para o clima

Coletar informações
enchentes, desmatamento, infraestrutura, lavouras, biodiversidade

Previsão
energia renovável, demanda de transporte, eventos extremos

Otimizar sistemas complexos
eletricidade e energia, aquecimento e resfriamento, frete, desperdício de alimentos

Manutenção preditiva
vazamentos de metano, infraestrutura resiliente

Acelerar a experimentação científica
baterias, eletrocombustíveis, catalisadores, captura de carbono

Aproximar simulações demoradas
clima, energia, planejamento urbano

Gestão de dados
pareamento, agregação, fusão e aumento de dados

O que queremos ilustrar aqui?

Diversidade de

- setores / problemas relevantes
- locais / contextos geográficos
- tipos de IA
- tipos de organizações envolvidas

Não existe uma (nem mesmo 100) “melhor” aplicação da IA para o clima

Projetos valiosos costumam ser bem específicos

Muitas vezes longe dos projetos de IA (e clima) que aparecem no noticiário

Como a área de IA para o clima avançou

Inovações em métodos de AM (p. ex. modelos de difusão) relevantes para certas aplicações (p. ex. ciência do clima)

Amadurecimento de áreas do AM orientadas por aplicações (p. ex. AM informado pela física)

Muitos projetos foram além da prova de conceito (p. ex. ferramentas geoespaciais)

Crescimento de subcomunidades interdisciplinares com experiência em IA (p. ex. energia, ecologia)

Como o discurso mudou nos últimos anos

O clima agora é visto como área emblemática da “IA para o bem”, ao lado da saúde

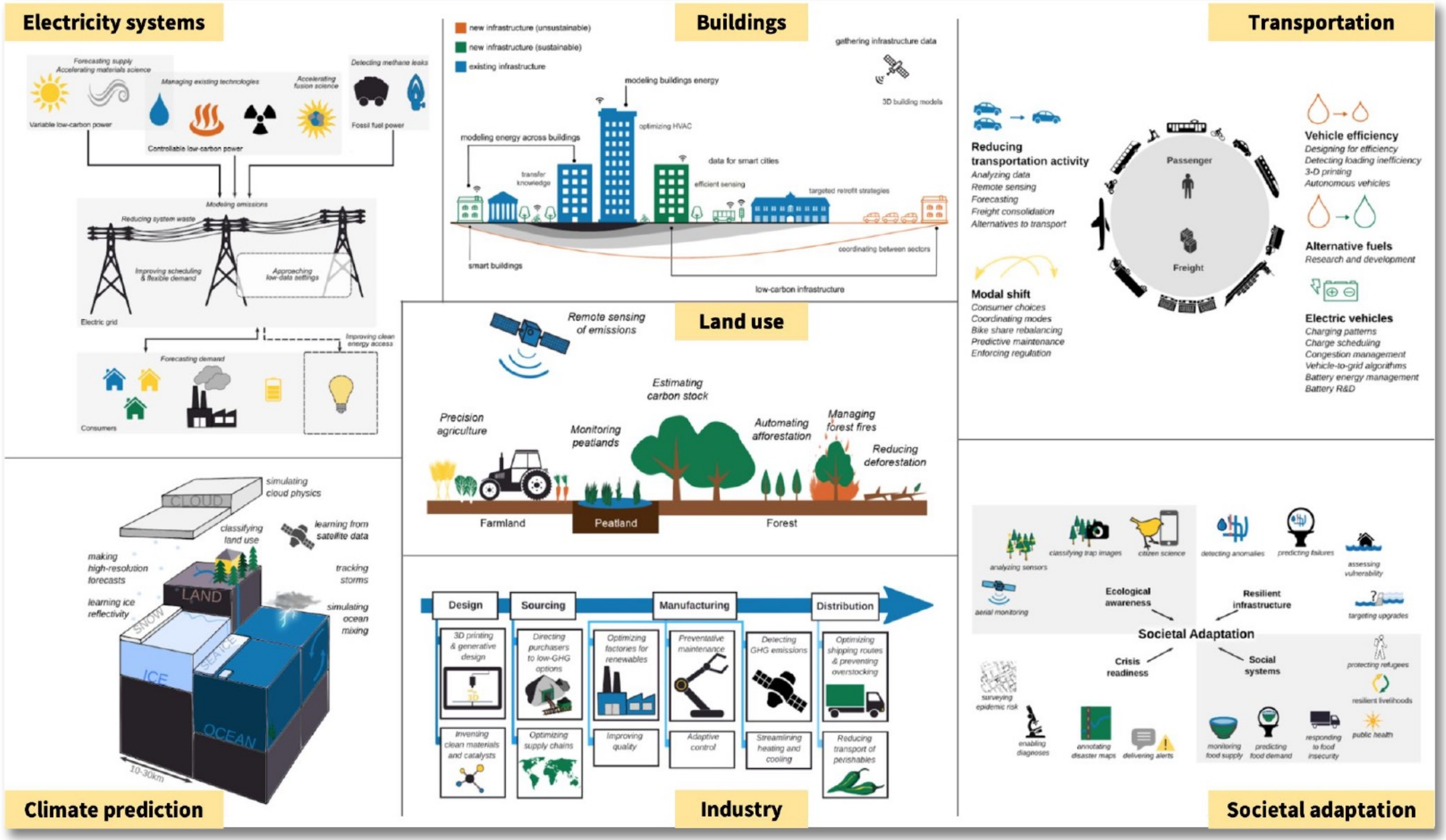
Alta visibilidade da IA: mais interesse (para o bem e para o mal)

Atenção pública aos grandes modelos generativos (p. ex. ChatGPT), confundidos com outras IAs

Enorme aumento do uso de energia e de data centers por causa dos grandes modelos generativos

Essas tendências criaram a percepção de que inovar em IA é centralizar

“Democratização” da IA costuma significar mais usuários, e não mais “construtores”


Electricity systems
Forecasting supply
Accelerating materials science
Managing existing technologies
Accelerating fusion science
Detecting methane leaks
Variable low-carbon power
Controllable low-carbon power
Fossil fuel power
Modeling emissions
Reducing system waste
Improving scheduling & flexible demand
Approaching low-data settings
Electric grid
Improving clean energy access
Forecasting demand
Consumers
Buildings
new infrastructure (unsustainable)
new infrastructure (sustainable)
existing infrastructure
gathering infrastructure data
3D building models
modeling buildings energy
optimizing HVAC
modeling energy across buildings
transfer knowledge
data for smart cities
efficient sensing
targeted retrofit strategies
coordinating between sectors
smart buildings
low-carbon infrastructure
Transportation
Reducing transportation activity
Anafyzing data
Remote sensing
Forecasting
Freight consolidation
Alternatives to transport
Passenger
Freight
Vehicle efficiency
Designing for efficiency
Detecting loading inefficiency
3-D printing
Autonomous vehicles
Alternative fuels
Research and development
Modal shift
Consumer choices
Coordinating modes
Bike share rebalancing
Predictive maintenance
Enforcing regulation
Electric vehicles
Charging patterns
Charge scheduling
Congestion management
Vehicle-to-grid algorithms
Battery energy management
Battery R&D
Land use
Remote sensing of emissions
Estimating carbon stock
Precision agriculture
Monitoring peatlands
Automating afforestation
Managing forest fires
Reducing deforestation
Farmland
Peatland
Forest
Climate prediction
simulating cloud physics
CLOUD
classifying land use
learning from satellite data
making high-resolution forecasts
tracking storms
learning ice reflectivity
simulating ocean mixing
LAND
SNOW
ICE
SEA ICE
OCEAN
10-30km
Industry
Design
Sourcing
Manufacturing
Distribution
3D printing & generative design
Directing purchasers to low-GHG options
Optimizing factories for renewables
Preventative maintenance
Detecting GHG emissions
Optimizing shipping routes & preventing overstocking
Inventing clean materials and catalysts
Optimizing supply chains
Improving quality
Adaptive control
Streamlining heating and cooling
Reducing transport of perishables
Societal adaptation
analyzing sensors
classifying trap images
citizen science
detecting anomalies
predicting failures
assessing vulnerability
aerial monitoring
Ecological awareness
Resilient infrastructure
targeting upgrades
Societal Adaptation
Crisis readiness
Social systems
surveying epidemic risk
protecting refugees
resilient livelihoods
enabling diagnoses
annotating disaster maps
delivering alerts
monitoring food supply
predicting food demand
responding to food insecurity
public health

💬Digite sua resposta no chat do Zoom

Cite uma organização que você conhece que esteja explorando ou criando soluções de IA para o clima

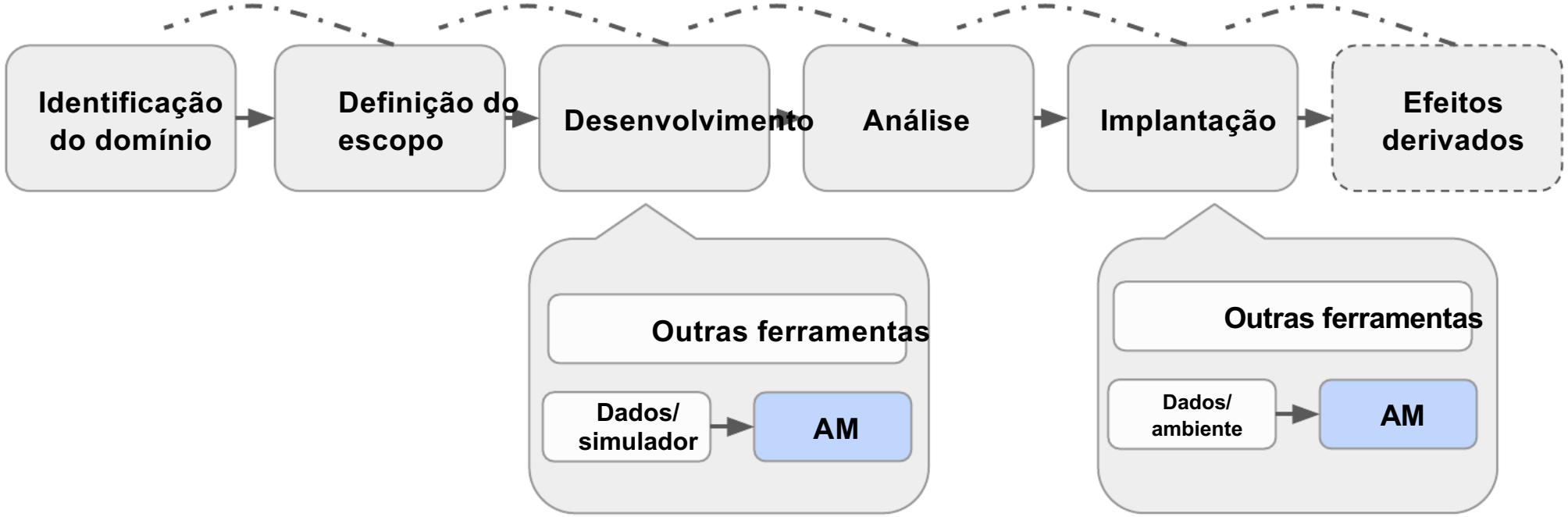
Fique à vontade para dizer em poucas palavras que problema ela tenta resolver.

Roteiro da aula

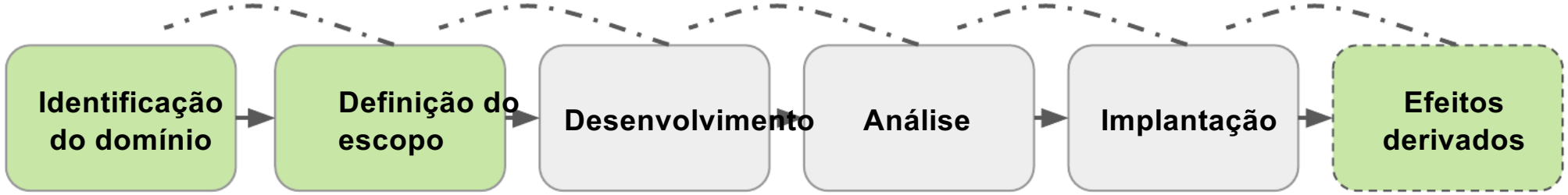
Intervalo de 5 minutos

Por quê	Enquadramento: mudança climática e ação climática
O quê	Enquadramento: IA e aprendizado de máquina (AM)
O quê	Papéis tecnológicos da IA para a ação climática
Como	Considerações para desenvolvimento e implantação
Quais	Abordagens de aprendizado de máquina para problemas climáticos
Como	Boas práticas em destaque: abordagens, recursos e ferramentas

AM para o clima: caminho para o impacto



AM para o clima: caminho para o impacto

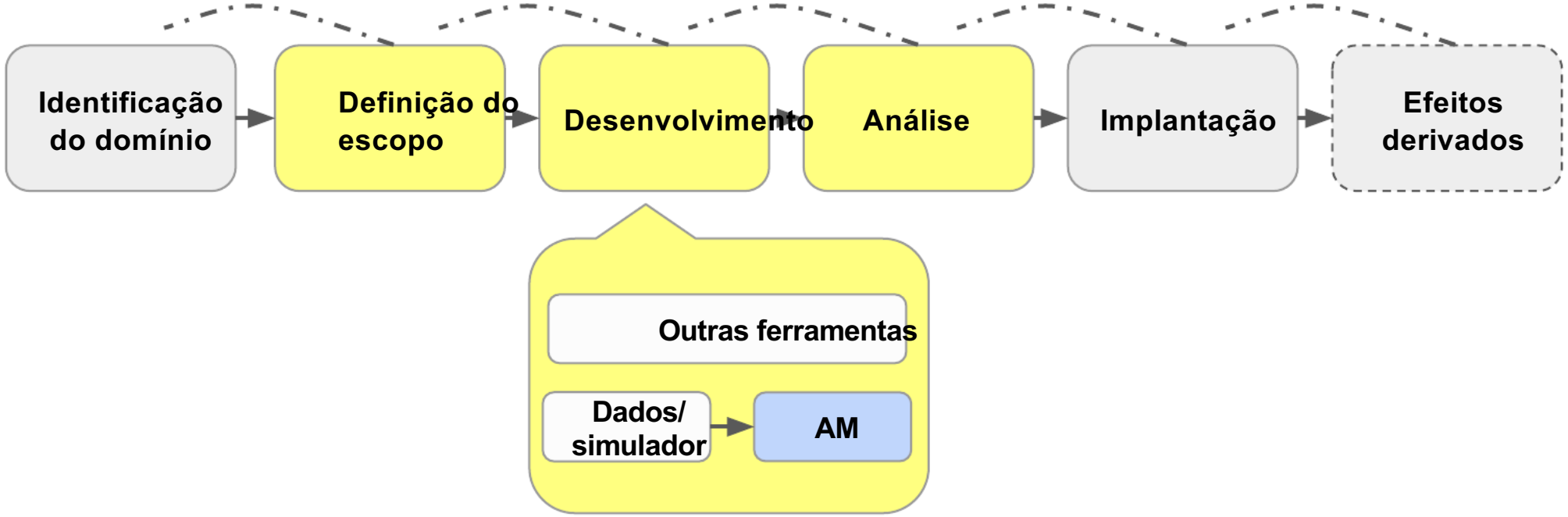


Quais partes interessadas estão envolvidas na aplicação ou são afetadas por ela?

Qual é o alcance do impacto?

Qual é o horizonte de tempo do impacto?

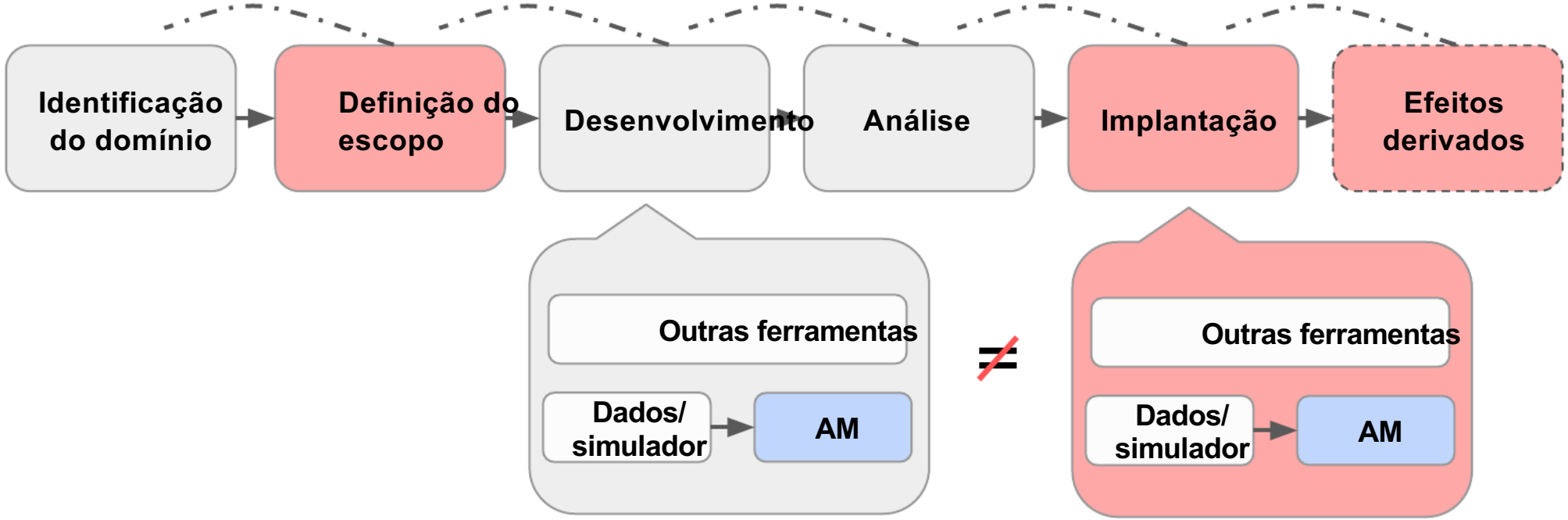
AM para o clima: caminho para o impacto



IA/AM é adequada e necessária para o problema?

Qual a probabilidade de encontrar uma solução?

AM para o clima: caminho para o impacto



Uma solução pode ser implantada na prática?

Quais os possíveis efeitos colaterais de implantar a solução?

Novas aplicações exigem nova infraestrutura especializada

Dados: coleta, anotação, agregação, inferência e/ou licenciamento

- Obs.: “dados” pode significar coisas diferentes para comunidades diferentes

Simuladores: necessários para inovar em domínios físicos

- P. ex. sistemas elétricos, transporte, edificações, indústria pesada

Métricas de avaliação: exigem acordo e iteração entre pesquisadores de AM, pesquisadores do domínio, operadores e outras partes afetadas

Recursos e espaços

- Dados desejados (CCAI) (https://www.climatechange.ai/dev/datagaps)
- Financiamento do Lacuna Fund para dados climáticos
- NeurIPS Datasets and Benchmarks

Quem participa do desenvolvimento do AM é decisivo

Aplicações de AM de alto impacto nem sempre são vistosas

Conhecimento e experiência no domínio são essenciais para tecnologias implantáveis

Colaboração interdisciplinar

- Definir os problemas certos
- Incorporar informações relevantes do domínio
- Traçar caminhos para o impacto

Considerações de equidade

- Empoderar partes interessadas diversas
- Selecionar e priorizar problemas
- Garantir dados representativos

Desenvolver IA com abordagens responsáveis, orientadas a impacto e centradas na equidade

Evitar o tecnossolucionismo

- *A IA não é uma solução mágica*
- *Onde se aplica, é só uma parte da estratégia*

Mitigar vieses em dados e modelos

- *P. ex. dados de edificações: discriminação habitacional, disponibilidade desigual entre regiões*
- *P. ex. modelos meteorológicos: a calibração pode ser otimizada para certas regiões*

Aumentar a confiabilidade e a responsabilização

- *Segurança e robustez: críticas p. ex. em sistemas elétricos e operações industriais*
- *Interpretabilidade e auditabilidade: críticas p. ex. na formulação de políticas*

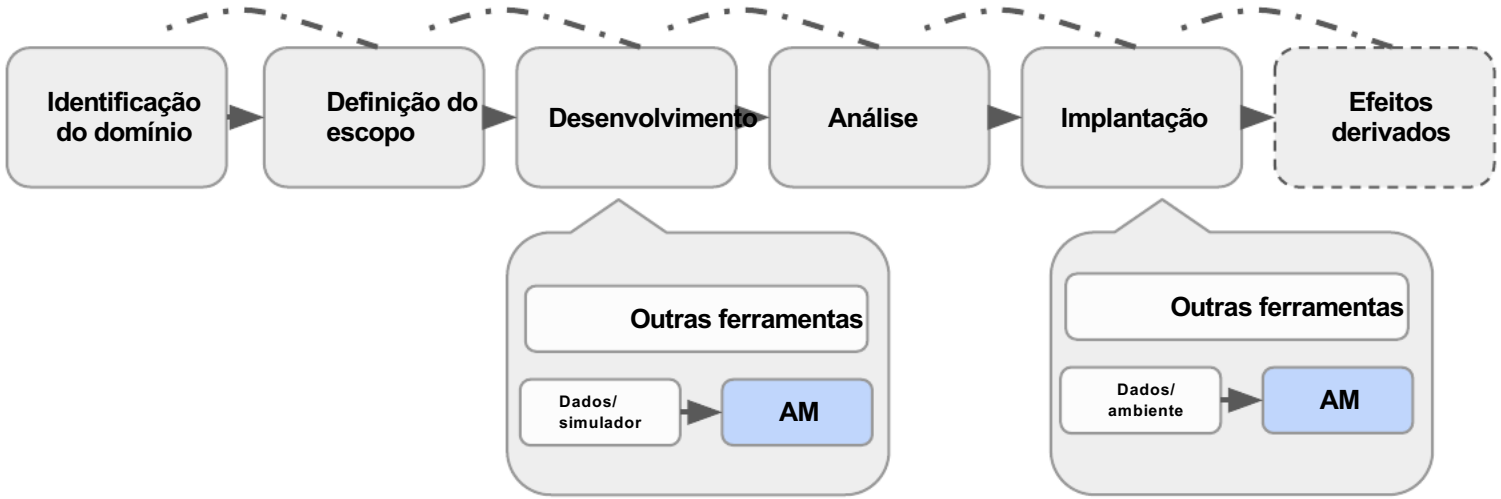
Colocar a equidade e a justiça climática no centro

- *Centrar partes interessadas diversas: p. ex. agricultura industrial vs. pequenos agricultores*
- *Evitar a centralização do poder: acesso democratizado a capacidade e computação*
- *Evitar o colonialismo digital: p. ex. medidores inteligentes, análise de sensoriamento remoto*

IA para o clima com impacto exige uma abordagem sociotécnica

Considerar todo o caminho para o impacto, incluindo

- Dados, simuladores, métricas
- IA responsável e considerações climáticas
- Engajamento das partes interessadas

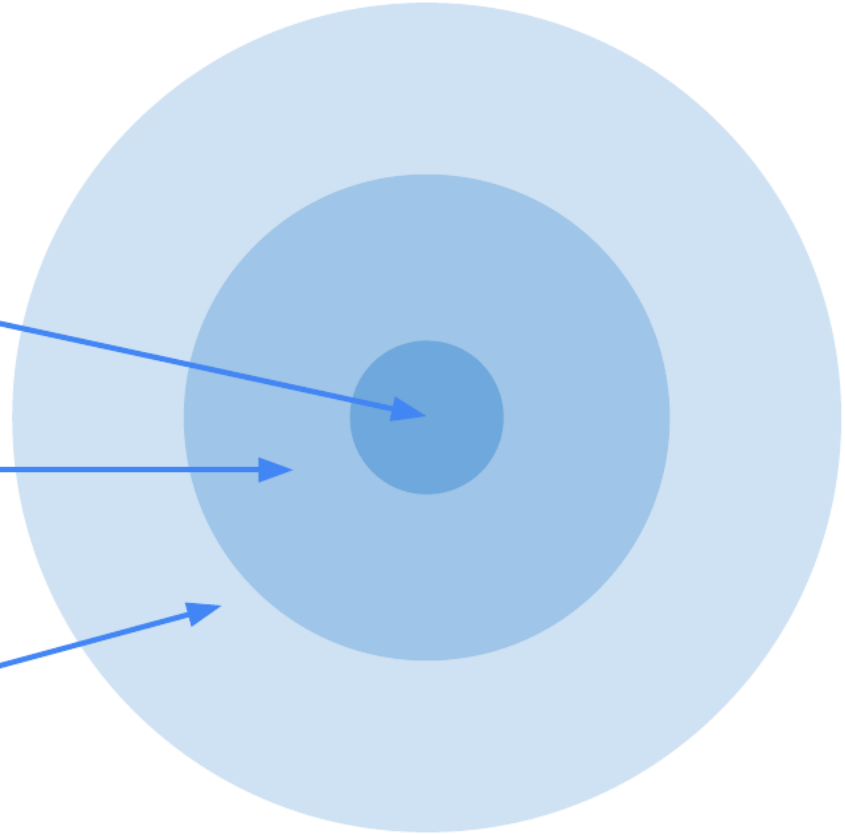


IA responsável e ética exige uma perspectiva holística

Considerações no nível do projeto (como concretizá-lo)

Escolha dos projetos (onde a IA é usada, quem de fato se beneficia dos projetos de IA)

Impactos sistêmicos e geopolíticos das trajetórias da IA (investimentos, extração e cadeias de suprimentos, capacitação etc.)



Relação multifacetada entre IA e clima

Aplicações de IA
para a ação climática

Impactos da computa
e do hardware
de IA

Aplicações de IA
com impactos incertos
ou sistêmicos

Aplicações de IA que
aumentam as emissões



Responsible & Ethical AI

Virginia Dignum
Umeå University



Intro to AI Policy & Regulation

Costa Samaras
Carnegie Mellon University



Shaping Your AI-for-Climate Project in Practice

Dina Machuve
DevData Analytics, Data Science Africa



Intro to Climate Policy & Regulation

Vaibhav Chugh
Council on Energy, Environment and Water (CEEW)



Sustainability Impacts of AI

Nikola Milojević-Dupont
Climate Change AI

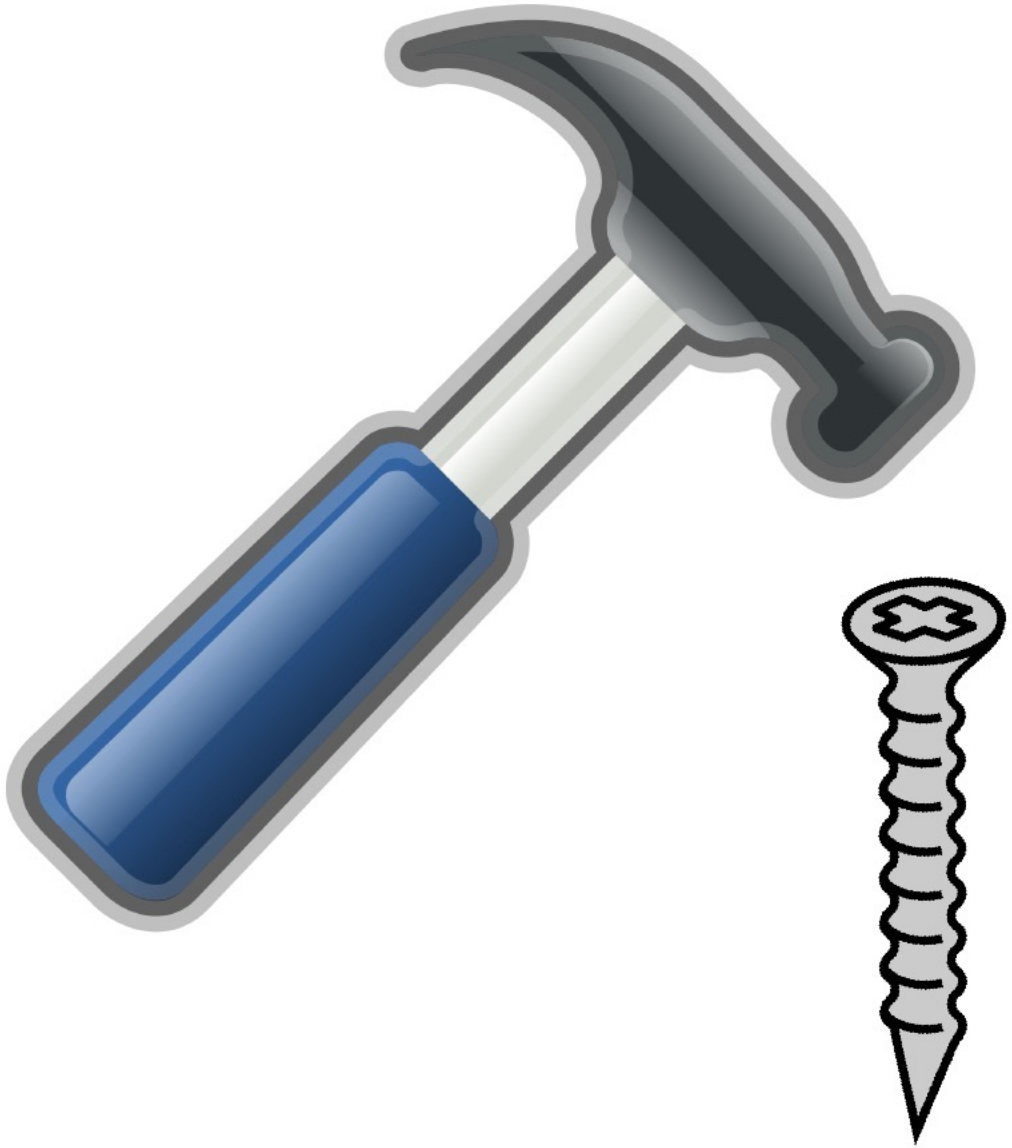
Reducing your Climate Impact when Training ML Models

Melanie Hanna (Quanata), Andres Felipe Perez Murcia (Uni. of Manitoba)



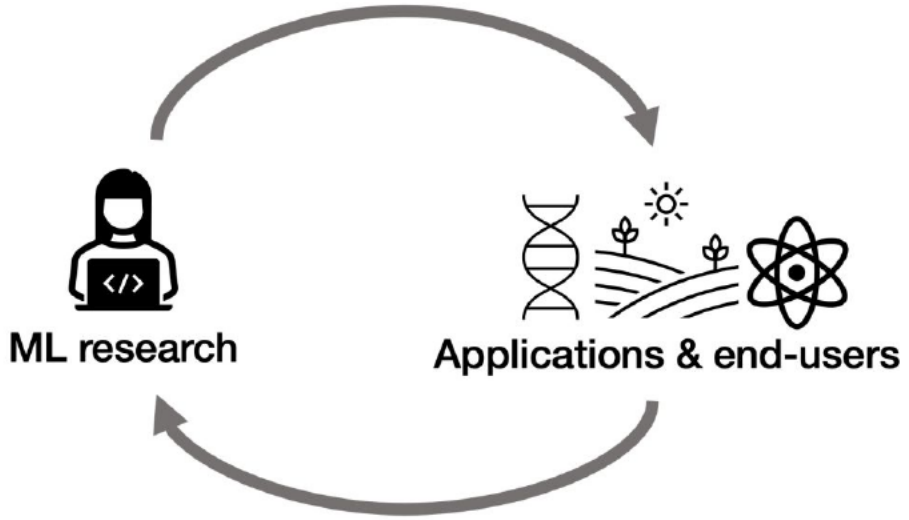

Roteiro da aula

Por quê	**Enquadramento: mudança climática e ação climática**
O quê	**Enquadramento: IA e aprendizado de máquina (AM)**
O quê	**Papéis tecnológicos da IA para a ação climática**
Como	**Considerações para desenvolvimento e implantação**
Quais	**Abordagens de aprendizado de máquina para problemas climáticos**
Como	**Boas práticas em destaque: abordagens, recursos e ferramentas**




Flathead
Phillips
Torx
Robertson
Hex
Pozidriv
Tri-Wing

Os desafios climáticos podem impulsionar a inovação em tecnologia climática

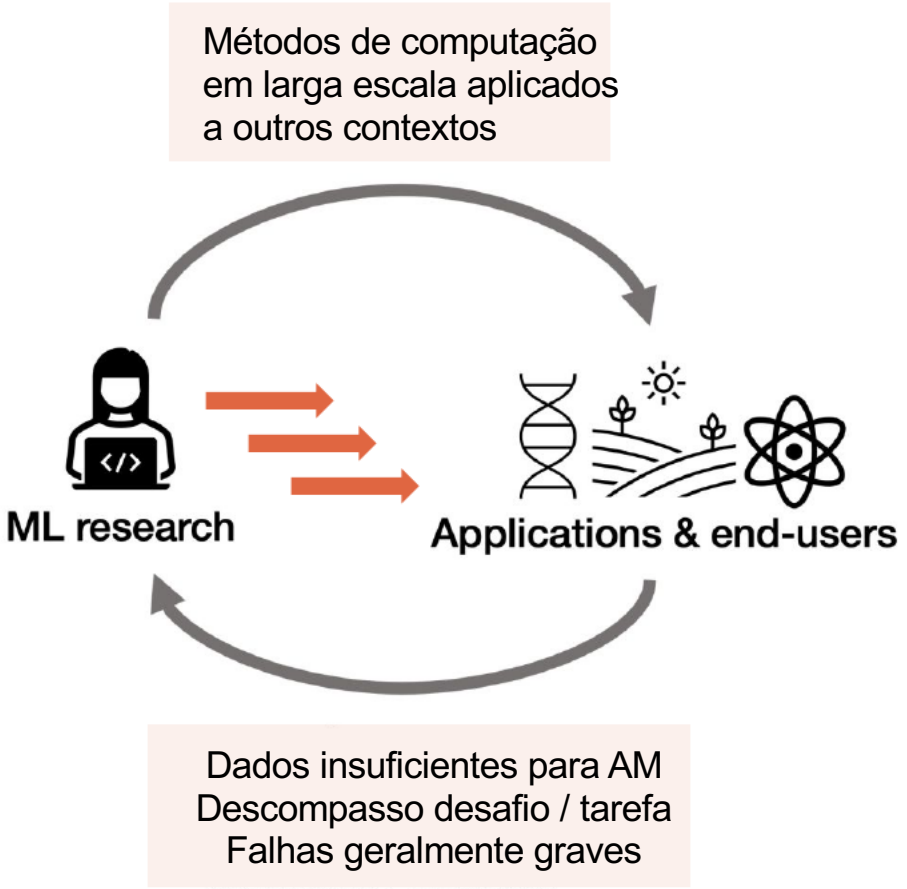


Veja: David Rolnick, Alan Aspuru-Guzik, Sara Beery, Bistra Dilkina, Priya L. Donti, Marzyeh Ghassemi, Hannah Kerner et al. "Position: Application-Driven Innovation in Machine Learning." International Conference on Learning Representations (2024).

Métodos padrão de AM tendem a falhar em contextos “não padrão”

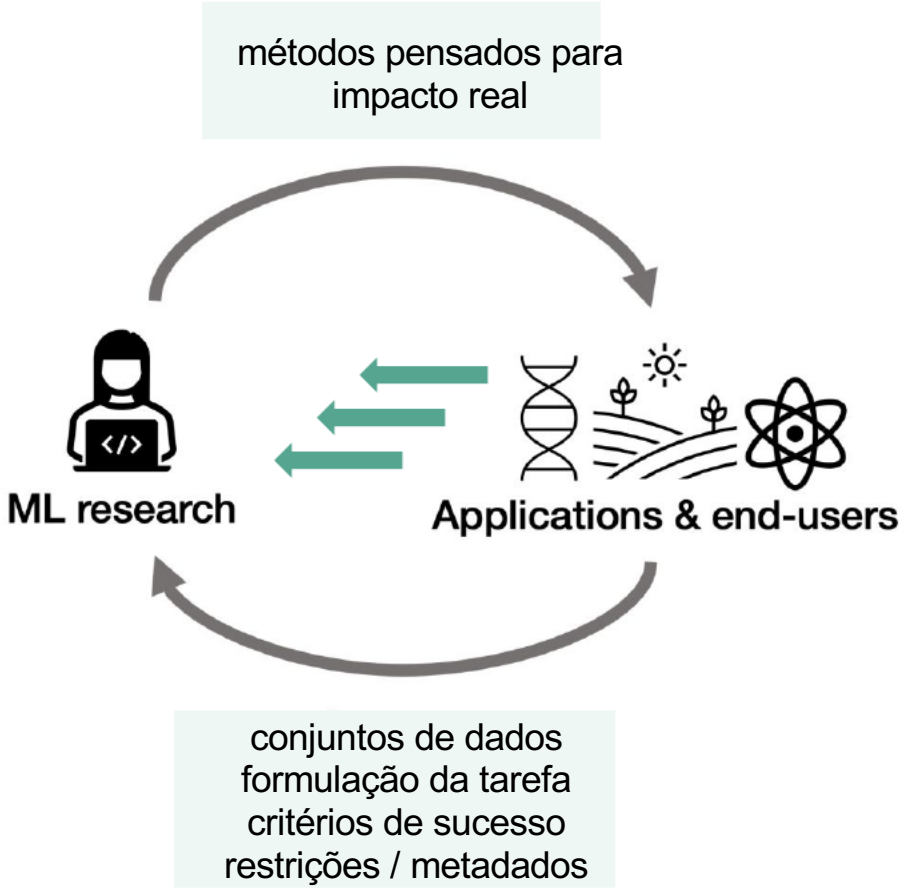
Abordagem de cima para baixo

Métodos de IA de ponta aplicados a problemas climáticos



Veja: David Rolnick, Alan Aspuru-Guzik, Sara Beery, Bistra Dilkina, Priya L. Donti, Marzyeh Ghassemi, Hannah Kerner et al. "Position: Application-Driven Innovation in Machine Learning." International Conference on Learning Representations (2024).

Os desafios climáticos devem orientar a inovação em tecnologia climática



Abordagem de baixo para cima

As aplicações climáticas moldam a inovação em IA para o clima

Exemplos de requisitos para métodos de AM:

- **Otimização da rede: atender** às restrições de engenharia
- **Previsão do tempo: lidar com dados escassos,** conforme a região
- **Detecção de incêndios por drones: rodar** com eficiência em dispositivos de baixo consumo

Veja: David Rolnick, Alan Aspuru-Guzik, Sara Beery, Bistra Dilkina, Priya L. Donti, Marzyeh Ghassemi, Hannah Kerner et al. "Position: Application-Driven Innovation in Machine Learning." International Conference on Learning Representations (2024).

Contextos diversos exigem abordagens diversas

Paradigma dominante do AM (p. ex.)

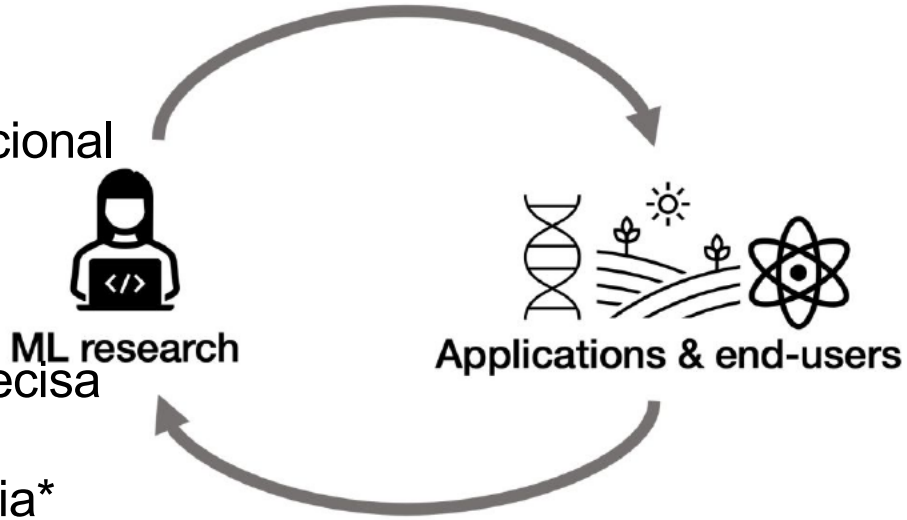
Big data

Grande capacidade computacional

Computação não é um limite

Dados são tudo de que se precisa

Desempenho = acurácia média*



Domínios de IA para o clima (p. ex.)

Menos dados; dados difíceis de transferir

Menos computação; dispositivos de borda; reduzir energia/emissões

Conhecimento útil da tarefa/domínio

Conjunto diverso de métricas
(p. ex. acurácia ponderada por grupo, segurança, robustez, privacidade, interpretabilidade, explicabilidade, quantificação da incerteza…)

Veja também: Birhane, Abeba, et al. "The values encoded in machine learning research." ACM Conference on Fairness, Accountability, and *Transparency . 2022.*

💬Digite sua resposta no chat do Zoom

Pense em uma aplicação climática no seu contexto local.

Que requisito “não padrão” um sistema de IA/AM precisaria cumprir para ser realmente útil à sua aplicação?

Considere dados, métricas de desempenho, restrições e alinhamento com o conhecimento existente.

Oportunidades nas aplicações de IA para o clima

Coletar informações
enchentes, desmatamento, infraestrutura, lavouras, biodiversidade

Previsão
energia renovável, demanda de transporte, eventos extremos

Otimizar sistemas complexos
eletricidade e energia, aquecimento e resfriamento, frete, desperdício de alimentos

Manutenção preditiva
vazamentos de metano, infraestrutura resiliente

Acelerar a experimentação científica
baterias, eletrocombustíveis, catalisadores, captura de carbono

Aproximar simulações demoradas
clima, energia, planejamento urbano

Gestão de dados
pareamento, agregação, fusão e aumento de dados

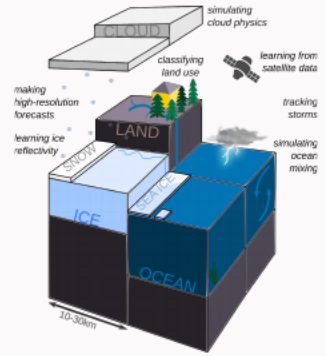
Fronteiras metodológicas relevantes para o clima

AM informado pela física

AM seguro e robusto

Previsão climática

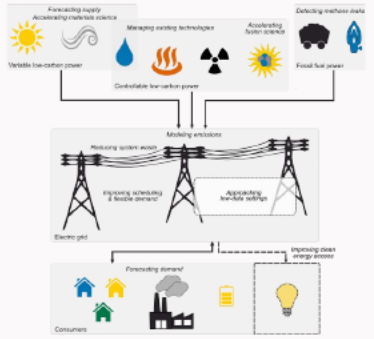
Modelagem da Terra, da atmosfera e dos oceanos



Sistemas elétricos

Otimização de parques eólicos

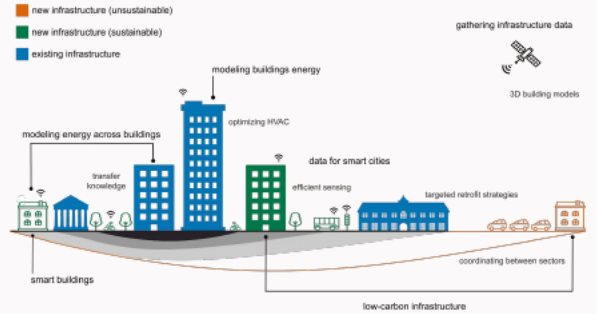
Otimização e controle de sistemas elétricos



Edificações e cidades

Simulações ambientais urbanas

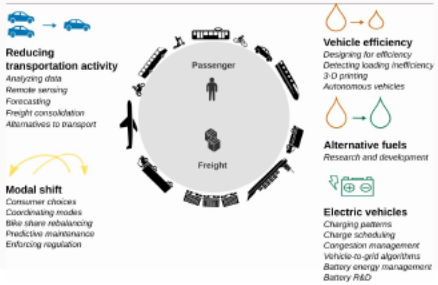
Controle de aquecimento e resfriamento de edifícios



Transportes

Modelagem de eficiência aerodinâmica

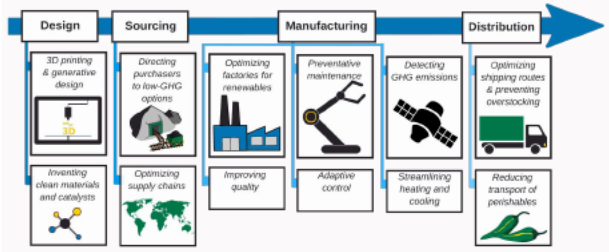
P&D de baterias e combustíveis alternativos



Indústria

Controle de equipamentos e resposta da demanda

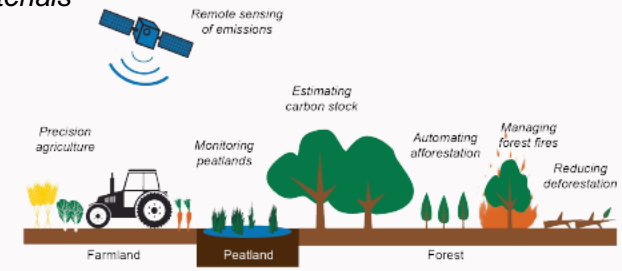
Projeto de estruturas com menos materiais



Uso da terra (agricultura)

Agricultura de precisão

Produção mais limpa de amônia



Veja também: Priya L. Donti, David Rolnick, Lynn H. Kaack, “Climate Change and ML: Opportunities, Challenges, and Considerations,” ICML 2022 tutorial.

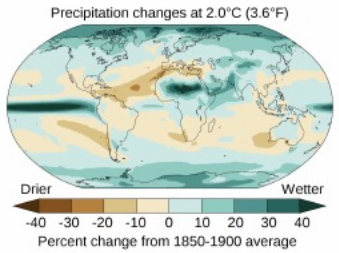
Fronteiras metodológicas relevantes para o clima

AM informado pela física

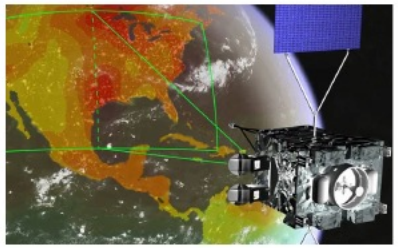
AM seguro e robusto

AM interpretável

Quantificação da incerteza



Compreensão científica e previsões da mudança climática



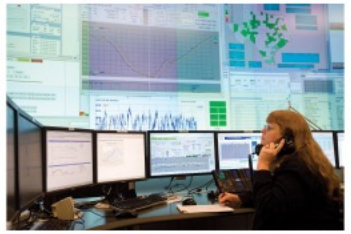
Monitoramento, relato e verificação de emissões e efeitos da mudança climática



Alerta precoce e resposta a emergências



Formulação de políticas nos níveis internacional, nacional e local



Planejamento e operação de infraestrutura crítica



Inovação e avaliação de tecnologias

Veja também: Priya L. Donti, David Rolnick, Lynn H. Kaack, “Climate Change and ML: Opportunities, Challenges, and Considerations,” ICML 2022 tutorial.

Fronteiras metodológicas relevantes para o clima

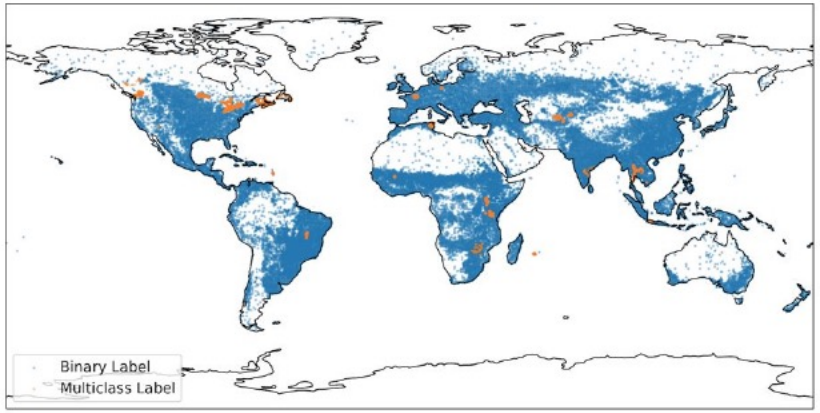
AM informado pela física

AM seguro e robusto

AM interpretável

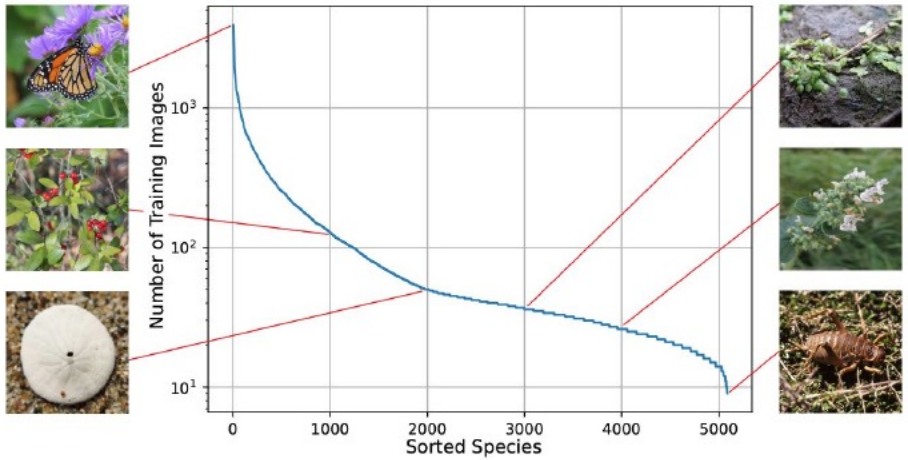
Quantificação da incerteza

Generalização
(espaço-temporal, deriva de conceito, dados limitados)



G. Tseng, et al., "CropHarvest: A global dataset for crop-type classification," NeurIPS 2021 Datasets and Benchmarks Track.

G. Van Horn et al., "The iNaturalist species classification and detection dataset," CVPR 2018.



Veja também: Priya L. Donti, David Rolnick, Lynn H. Kaack, “Climate Change and ML: Opportunities, Challenges, and Considerations,” ICML 2022 tutorial.

Fronteiras metodológicas relevantes para o clima

AM informado pela física

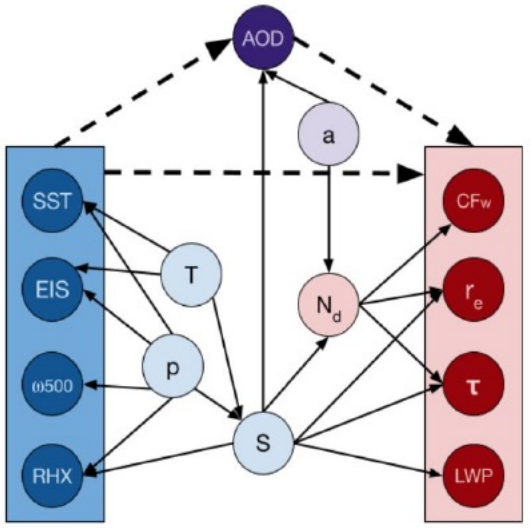
AM seguro e robusto

AM interpretável

Quantificação da incerteza

Generalização
(espaço-temporal, deriva de conceito, dados limitados)

Causalidade



AOD	Aerosol optical depth	T	Temperature	CFw	Warm Cloud Fraction
SST	Sea surface temperature	p	Pressure	r_e	Effective radius
EIS	Effective inversion strength	S	Supersaturation	τ	Optical thickness
W500	500 hPa vertical velocity	N_d	Droplet Number Concentration	LWP	Liq. Water Path
RHX	X hPa relative humidity	a	Aerosol		

A. Jesson et al., "Using non-linear causal models to study aerosol-cloud interactions in the southeast Pacific," Tackling Climate Change with Machine Learning workshop at NeurIPS 2021 .

Veja também: Priya L. Donti, David Rolnick, Lynn H. Kaack, “Climate Change and ML: Opportunities, Challenges, and Considerations,” ICML 2022 tutorial.

Fronteiras metodológicas relevantes para o clima

AM informado pela física

AM seguro e robusto

AM interpretável

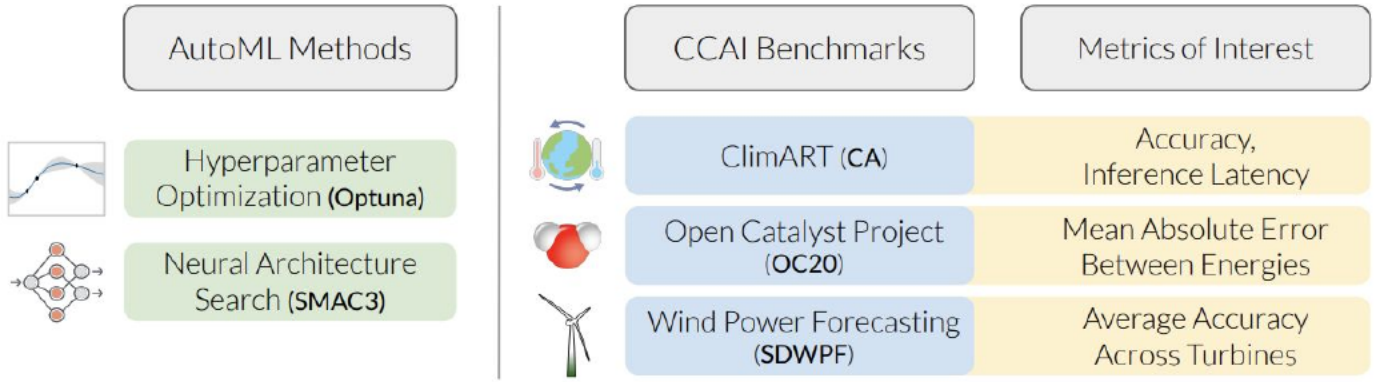
Quantificação da incerteza

Generalização
(espaço-temporal, deriva de conceito, dados limitados)

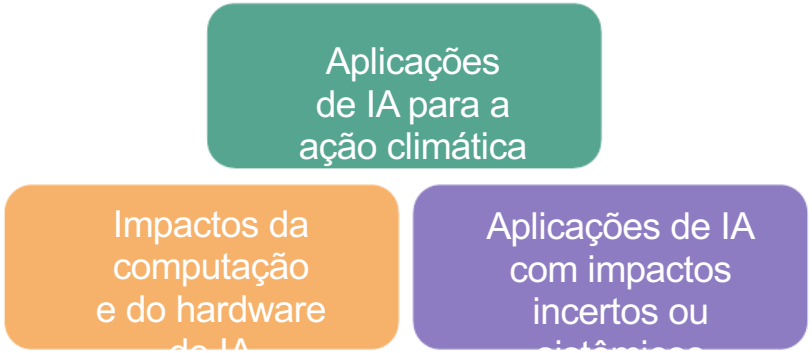
Causalidade

AM eficiente em energia e TinyML

AutoML



Tu, Renbo, et al. "AutoML for climate change: A call to action." Tackling *Climate Change with Machine Learning workshop at NeurIPS 2022* .

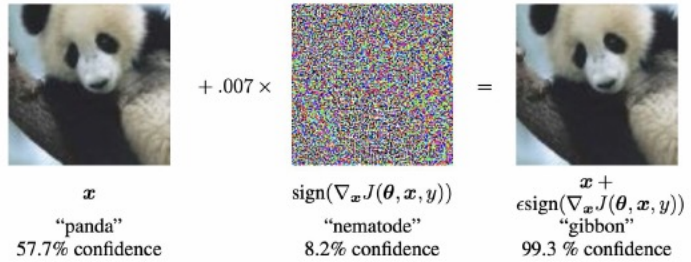


Veja também: Priya L. Donti, David Rolnick, Lynn H. Kaack, “Climate Change and ML: Opportunities, Challenges, and Considerations,” ICML 2022 tutorial.

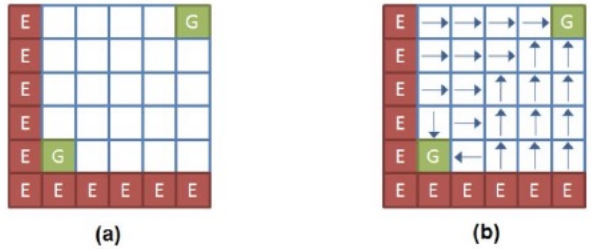
Desafios comuns ainda diferem entre contextos

Exemplo: diferentes noções de segurança e robustez

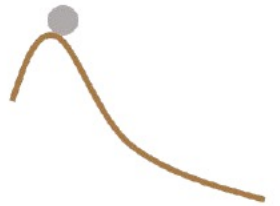
Robustez adversarial [AM]: robustez a perturbações das entradas



Aprendizado por reforço seguro [AM]: evitar estados de erro ou cenários catastróficos



Controle robusto [p. ex. sistemas elétricos, edifícios]: levar o sistema ao equilíbrio (p. ex. estabilidade de Lyapunov)

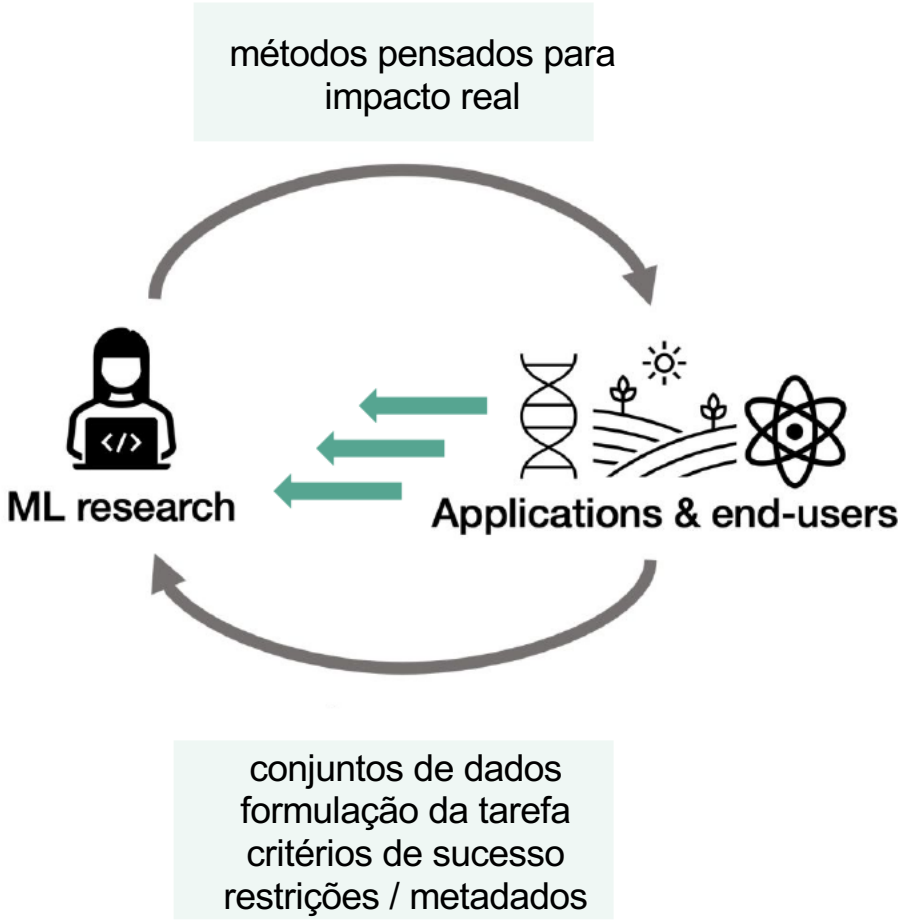


Viabilidade física [p. ex. sistemas elétricos, ciência do clima]: garantir o cumprimento das equações físicas



Fonte da figura de robustez adversarial: Goodfellow, I. J., Shlens, J., & Szegedy, C. (2015). Explaining and harnessing adversarial examples. ICLR.
Fonte da figura de RL seguro: Garcıa, J., & Fernández, F. (2015). A comprehensive survey on safe reinforcement learning. JMLR, 16 (1), 1437-1480.

Lição: a inovação em IA deve ser moldada pelas necessidades dos problemas climáticos



Veja: David Rolnick, Alan Aspuru-Guzik, Sara Beery, Bistra Dilkina, Priya L. Donti, Marzyeh Ghassemi, Hannah Kerner et al. "Position: Application-Driven Innovation in Machine Learning." International Conference on Learning Representations (2024).

Roteiro da aula

Por quê	**Enquadramento: mudança climática e ação climática**
O quê	**Enquadramento: IA e aprendizado de máquina (AM)**
O quê	**Papéis tecnológicos da IA para a ação climática**
Como	**Considerações para desenvolvimento e implantação**
Quais	**Abordagens de aprendizado de máquina para problemas climáticos**
Como	**Boas práticas em destaque: abordagens, recursos e ferramentas**

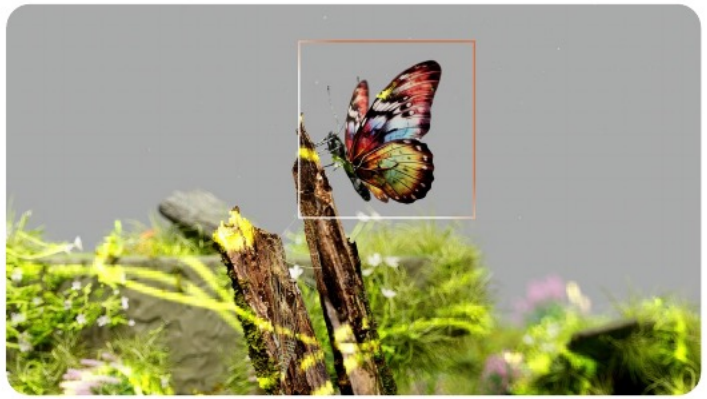
Representar a IA de forma holística: benefícios, danos e impactos



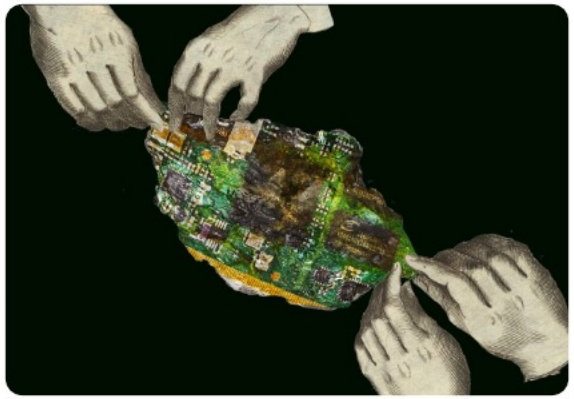
Fonte: Getty Images



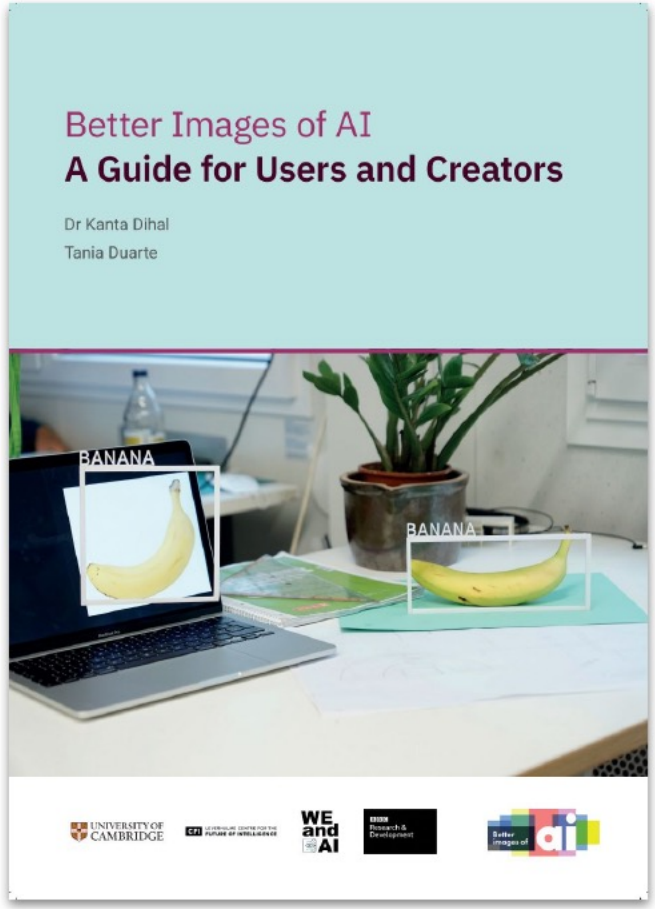
Fonte: Shutterstock.com



Fonte: Diaz & Google DeepMind, AI for Biodiversity

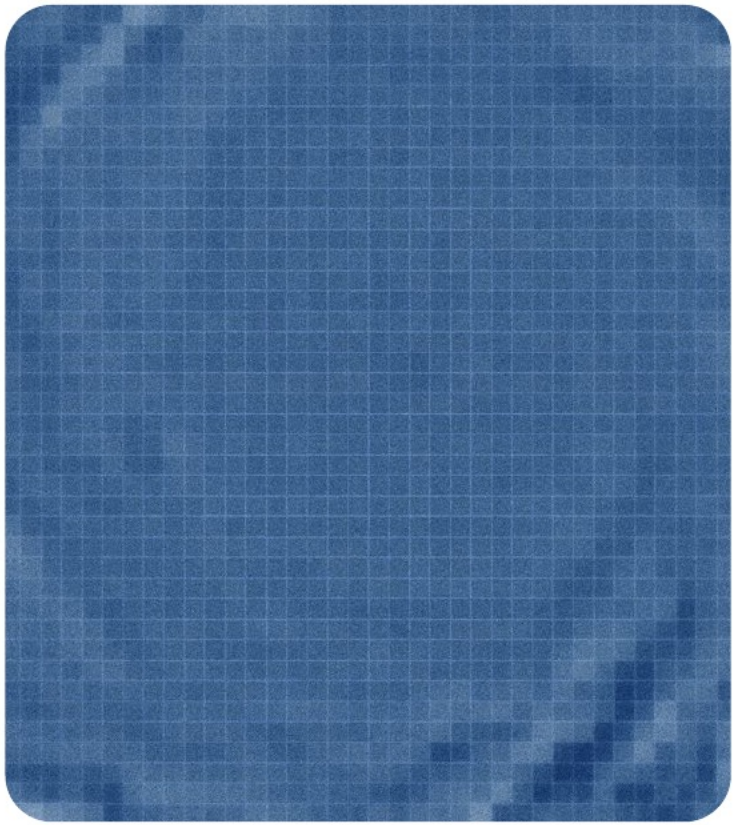


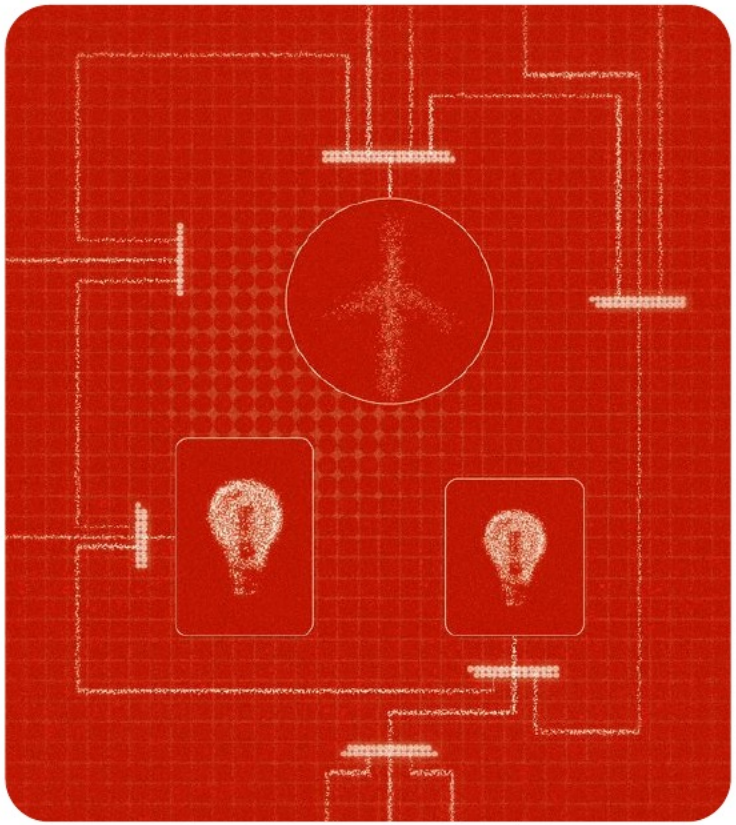
Fonte: Hanna Barakat, Rare Metals 2

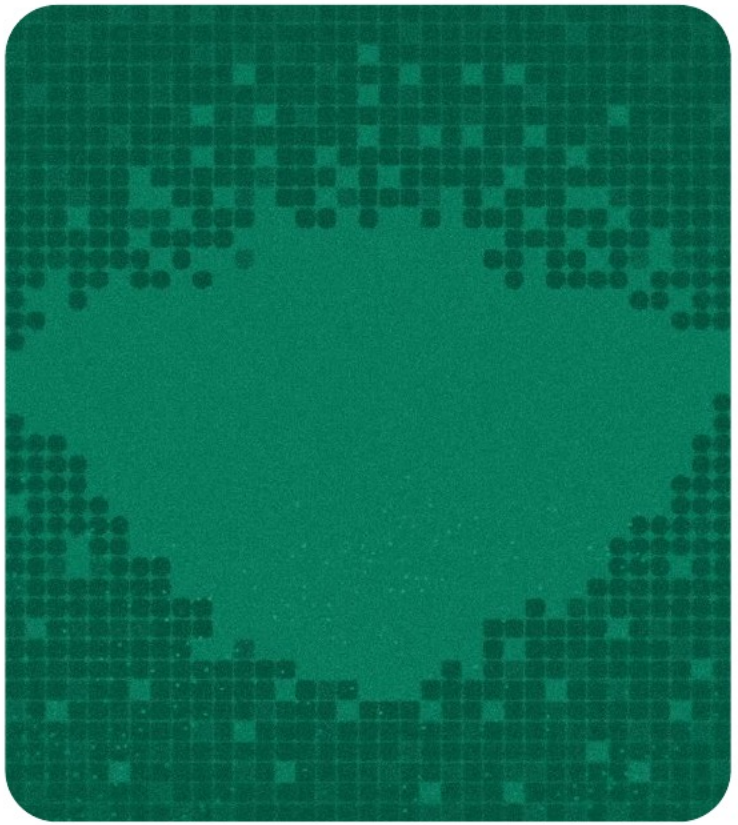


Fonte: Better Images of AI

Entender que tipos de dados climáticos são relevantes para aplicações concretas de IA para o clima

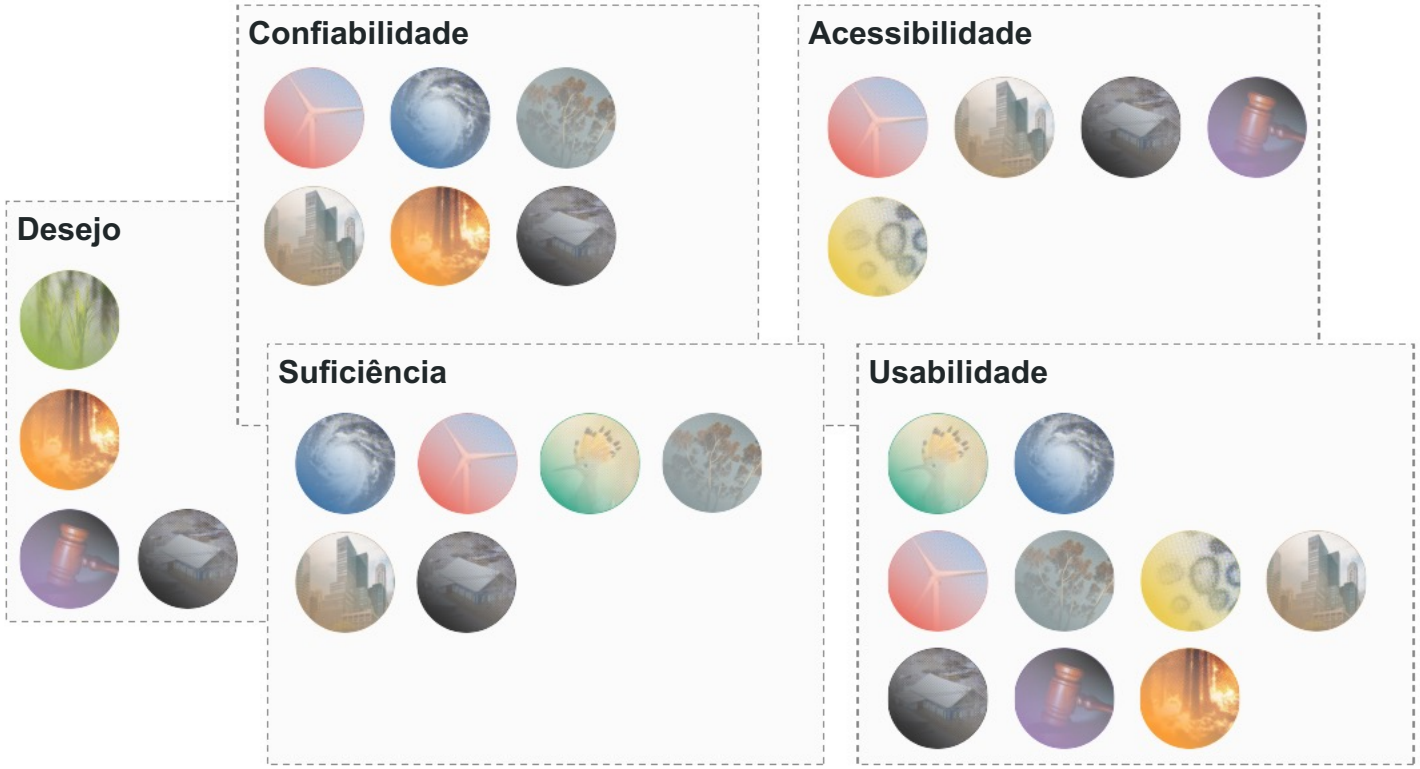






Fonte: Climate Change AI

Avaliar quais dados usar e suas limitações



Desejo
O conjunto de dados não existe

Confiabilidade
A qualidade ou a integridade dos dados precisa melhorar

Acessibilidade
Os dados não são fáceis de obter
(p. ex. não são localizáveis ou acessíveis)

Suficiência
Dados insuficientes, exigindo coleta adicional e/ou simulação

Usabilidade
Dados não são facilmente utilizáveis
(por pessoas e/ou máquinas)

Diversos
Outros desafios, incluindo os que surgem do uso de vários conjuntos de dados

Fonte: Climate Change AI Data Gaps

Promover o desenvolvimento aberto e a reprodutibilidade

Datasheets para conjuntos de dados

Marco de documentação que permite a quem cria conjuntos de dados refletir sobre questões-chave do ciclo de vida dos dados.

Motivação	Composição	
Processo de coleta	Pré-processamento, limpeza, rotulag	
Usos	Distribuição	Manutenção

- Orientar criadores e usuários de dados a avaliar conjuntos de dados de forma estruturada
- Aumentar a transparência e a responsabilização
- Facilitar a seleção em usos futuros
- Permitir maior reprodutibilidade e comparação de resultados

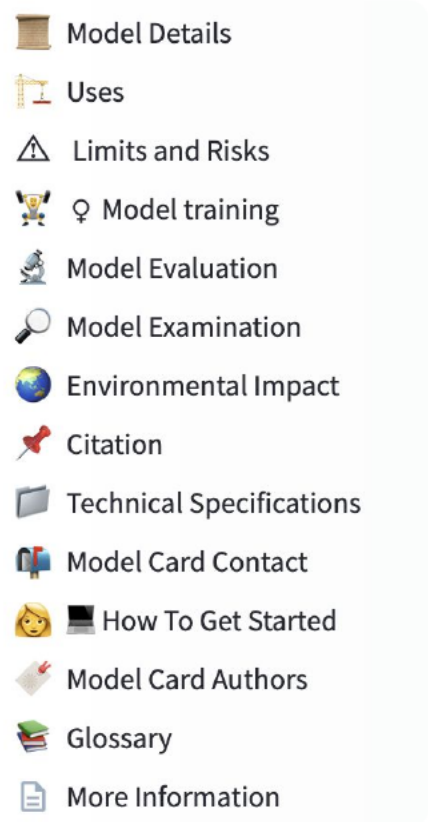
Fonte: Gebru et al. (2021), Datasheets for Datasets

Model cards

Model cards são uma forma padronizada de documentar modelos, incluindo como foram treinados e avaliados.

Costumam incluir

- Usos previstos (e usos fora do escopo)
- Métricas de avaliação
- Dados de treinamento (e técnicas de processamento)
- Considerações éticas



Fonte: HuggingFace
Ferramenta para redigir model cards

Fonte: Mitchell et al. (2018) Model Cards for Model Reporting

Estimando a pegada de carbono

Estimativa prévia da pegada de carbono com base na sua configuração

A calculadora Green Algorithms permite estimar a pegada de carbono antes do treinamento e da inferência, com base no seu hardware e na intensidade de carbono da eletricidade do local onde o cálculo será feito.

Permite comparar configurações antes de experimentar ou gastar recursos com hardware e/ou computação.

Estimativa em tempo real da pegada de carbono

Ferramentas como ML CO2 Impact, CodeCarbon, Carbontracker ou as dos provedores de nuvem permitem estimar a pegada de carbono durante o treinamento e a inferência, considerando o hardware, o tempo de execução e o provedor de nuvem usados.

Permite relatar a pegada de carbono dos seus modelos de AM

Characteristic of each strategy	Online calculator	Embedded package	Server-side tool
Compatible with any hardware	Yes	No, a dedicated tool needs to be built for each	Yes, provided hardware usage can be monitored
Compatible with any programming language	Yes		Yes
Compatible with any task or research field	Yes		Yes
Computing metrics are collected automatically	No	Yes	Yes
Does not interfere with existing code	Yes	No	Yes
Estimates can be obtained beforehand	Yes	No	No
Estimates can be obtained in real time	No	Yes	Yes
Estimates can be obtained retrospectively	Yes	Only if the tracker was active at the time	Yes
Scalable with large numbers of jobs	No	Yes	Yes
Scalable over long periods of time	No	Only if the tracker is used every time	Yes

Fonte: Lannelongue e Inouye (2023), Carbon footprint estimation for computational research

Pontos de entrada e caminhos a seguir



Computational Sustainability Network (desde 2008)

Climate Informatics (desde 2011)

Iniciativas regionais de IA, p. ex. Data Science Africa, o Deep Learning Indaba, KHIPU e os grupos de afinidade



Climate Change AI (desde 2019)

Work on Climate (desde 2020)

Iniciativa do Digital Futures Lab
AI + Climate Futures Asia (desde 2023)



GeoAI-Africa (desde 2024)

AfriClimate AI (desde 2024)

Climate AI Nordics (desde 2024)

Comunidade ESCS (desde 2025)



Environmentally Sustainable Computational Science

💬Digite sua resposta no chat do Zoom

Pense em como você gostaria de atuar
na área de IA para o clima.

Que tipos de recursos
vão ajudar você a avançar?

Pense no seu domínio de trabalho, nas comunidades de prática com que quer se envolver (dentro ou fora do seu domínio), nos tipos de conteúdo que quer ler (pesquisa, políticas, educação) e nas ferramentas de que vai precisar para praticar.

Recapitulação da aula

Por quê	Enquadramento: mudança climática e ação climática
O quê	Enquadramento: IA e aprendizado de máquina (AM)
O quê	Papéis tecnológicos da IA para a ação climática
Como	Considerações para desenvolvimento e implantação
Quais	Abordagens de aprendizado de máquina para problemas climáticos
Como	Boas práticas em destaque: abordagens, recursos e ferramentas

Escola de verão virtual CCAI 2026: materiais e acesso

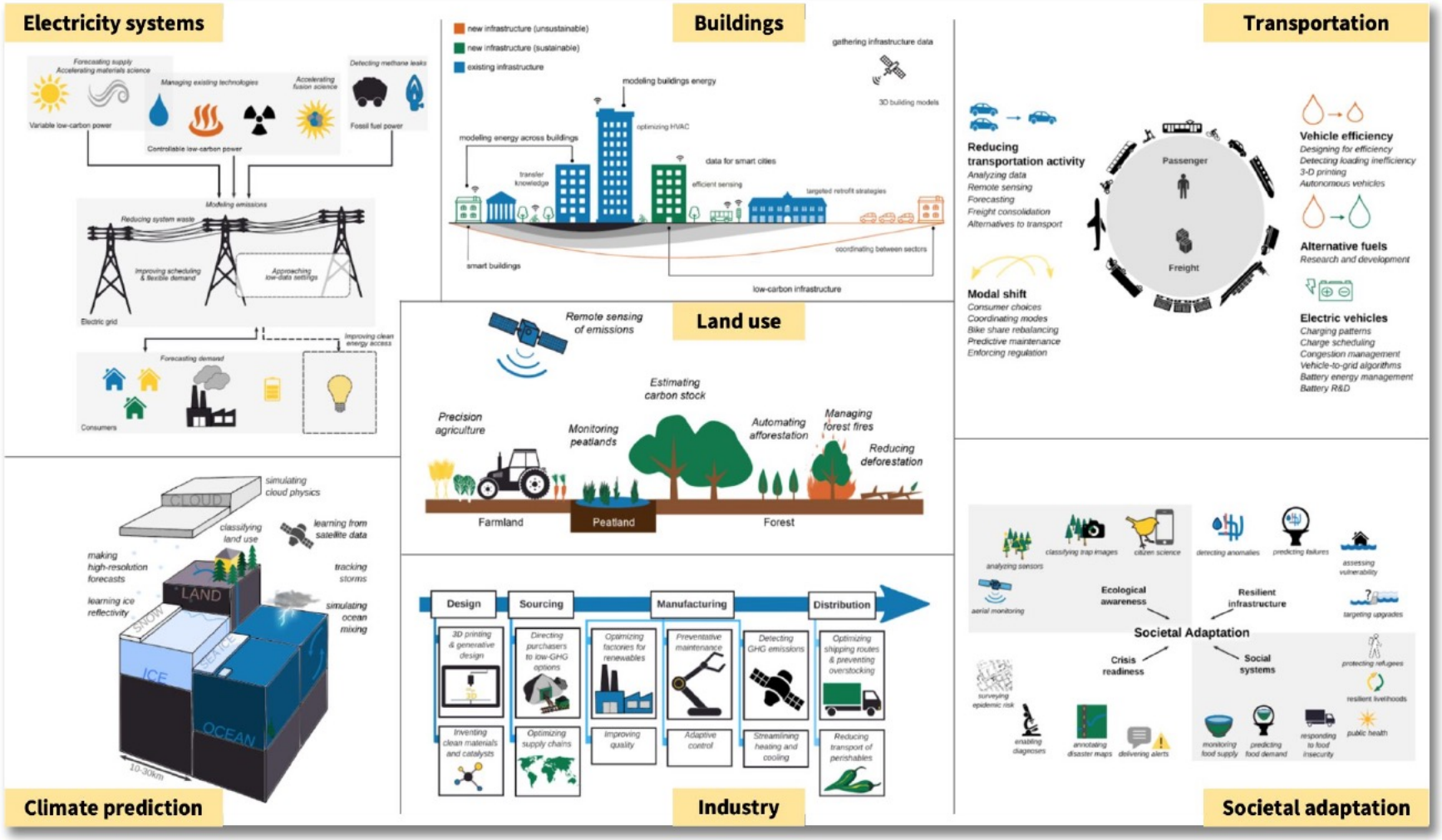
Slides, leituras, perguntas do quiz e a gravação da aula serão publicados na plataforma LearnWorlds

🌐 Você pode usar a Plataforma da Comunidade para fazer mais perguntas sobre esta aula e todos os outros conteúdos, e para interagir com outros participantes

Formulários de avaliação de cada aula e tutorial estarão disponíveis no LearnWorlds. Também vamos mostrar um formulário rápido no Zoom para você preencher antes de sair do webinar.

Desejamos a você uma Escola de verão virtual Climate Change AI 2026 enriquecedora, envolvente e produtiva!

Perguntas?


Electricity systems
Buildings
Transportation
Land use
Climate prediction
Industry
Societal adaptation
Reducing transportation activity
Vehicle efficiency
Alternative fuels
Electric vehicles
Modal shift
Passenger
Freight
Remote sensing of emissions
Estimating carbon stock
Precision agriculture
Monitoring peatlands
Automating afforestation
Managing forest fires
Reducing deforestation
Farmland
Peatland
Forest
Design
Sourcing
Manufacturing
Distribution
Societal Adaptation
Ecological awareness
Resilient infrastructure
Crisis readiness
Social systems