Climate Change AI

Desenhando na prática seu projeto de IA para o clima

Dra. Dina Machuve

7 de agosto de 2026

Programação

1. Avaliar a adequação da IA e a maturidade tecnológica
2. Pipelines de dados e caminhos de implantação
3. Avaliação de impacto e métricas
4. Partes interessadas, poder e sustentabilidade

Quebra-gelo

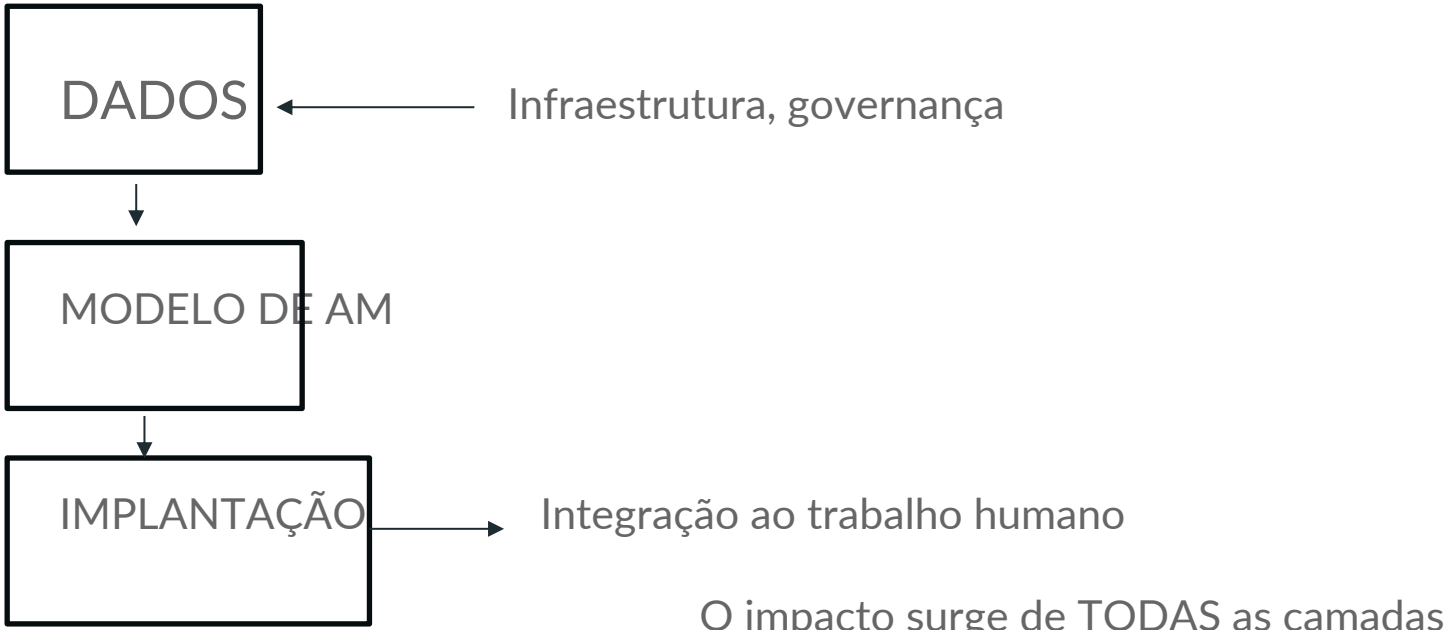
- Aponte desafios climáticos em que você acha que a IA poderia ajudar

partici.fi/32112222



Conceitos-chave

- O aprendizado de máquina é só um componente



Avaliar a adequação da IA e a maturidade tecnológica

A IA é a ferramenta certa?

- Perguntas antes de escolher a IA:
  - Temos dados de qualidade suficientes?
  - As restrições operacionais são compatíveis com fluxos de trabalho de IA?
  - As partes interessadas aceitarão recomendações algorítmicas?
  - Métodos mais simples poderiam alcançar resultados comparáveis?

A IA é a ferramenta certa?

- Quando a IA agrega valor:
  - Padrões complexos, alta dimensionalidade
  - Demandas de escala, aceleração além do ritmo humano
  - Inferência em tempo real necessária

- Quando soluções mais simples bastam
  - Decisões simples baseadas em regras
  - Dados limitados
  - Alto risco sem explicabilidade

Níveis de maturidade tecnológica no contexto climático

- O que é implantável agora vs. o que exige mais inovação
- Risco de prometer capacidades que ainda não existem
- Equilibrar ambição e viabilidade

Níveis de maturidade tecnológica no contexto climático

VIÁVEL AGORA

- Monitoramento do desmatamento por satélite
- Previsão da demanda de energia
- Estimativa de estoques de carbono
- Modelagem regional da produtividade agrícola
- Automação de inventários de emissões

Níveis de maturidade tecnológica

EXIGE INOVAÇÃO

- Previsão microclimática hiperlocal
- Agentes de balanceamento de renováveis em escala de rede
- Combate totalmente autônomo a incêndios florestais
- Diagnóstico de precisão da saúde do solo
- Cascatas de otimização intersetoriais

Escolher uma abordagem de IA

Tipo de tarefa	Métodos	Trade-offs
Regressão/previsão	Floresta aleatória, XGBoost	Velocidade vs. interpretabilidade
Classificação (binária/multiclasse)	Regressão logística, CNNs	Acurácia vs. complexidade
Análise espacial	GANs, autoencoders	Resolução vs. computação
Detecção de anomalias	VAEs	Sensibilidade vs. falsos positivos
Aprendizado por reforço	PPO, DQN	Flexibilidade vs. estabilidade do treinamento

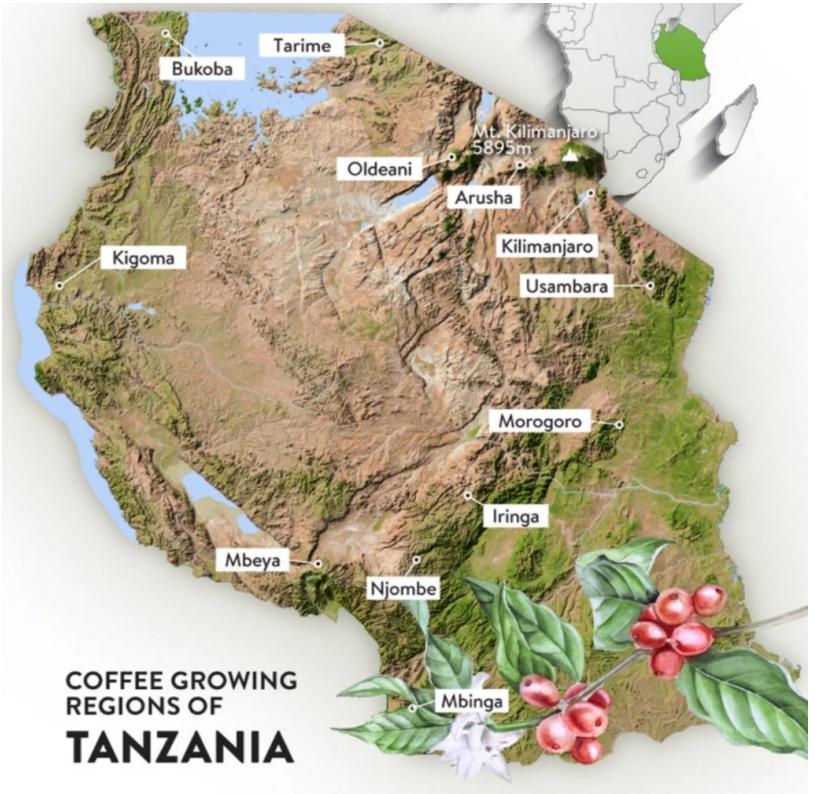
Escolher uma abordagem de IA

Checklist:

- Experiência disponível na equipe
- Requisitos de latência
- Frequência de atualização do modelo
- Orçamento de hardware/software
- Requisitos regulatórios/de conformidade

Estudo de caso – cafeicultura na Tanzânia

- 4° maior produtor da África
- 150.000 toneladas por ano
- Receita de US$ 100 a 135 milhões por ano
- Produzido por 450.000 pequenas propriedades familiares
- Agricultores organizados em cooperativas de comercialização agrícola



TCB (2021), Tanzanian Coffee Industry Development Strategy 2020-2025, *Tanzania Coffee Board. https://shorturl.at/yNHMZ*

- Mercados de exportação do café tanzaniano
- Países da UE 40%
    - Alemanha, Bélgica, Itália, Suécia e Polônia
- Outros mercados 60%
    - EUA
    - Japão, Coreia do Sul, China, Índia



EU Commission (2023), Regulation (EU) 2023/1115 on deforestation-free products. https://shorturl.at/ETo3z

- 90% da exportação de café
    - Produzido por pequenos agricultores
    - Sem informação de rastreabilidade
    - Georreferenciamento de agricultores em 70% em duas regiões
    - Cadastro central governamental de cafeicultores
- 10% é exportação direta
    - Grandes fazendas



TCB (2021), Tanzanian Coffee Industry Development Strategy 2020-2025, *Tanzania Coffee Board*

- Cadastro central de agricultores
  - Caro para o governo
  - O georreferenciamento das propriedades é um trabalho contínuo
  - Atualização das informações (propriedades e agricultores)
  - Sustentabilidade da plataforma incerta
- Risco de perder o mercado da UE
- Evidência da Etiópia: cafeicultores migraram para outras culturas



Sorokin, S. (2024), How are EUDR requirements implemented in companies' supply networks? *The case of Ethiopian Coffee sourcing*, *IIIEE Master Thesis*, Lund University.

Checkpoint 1

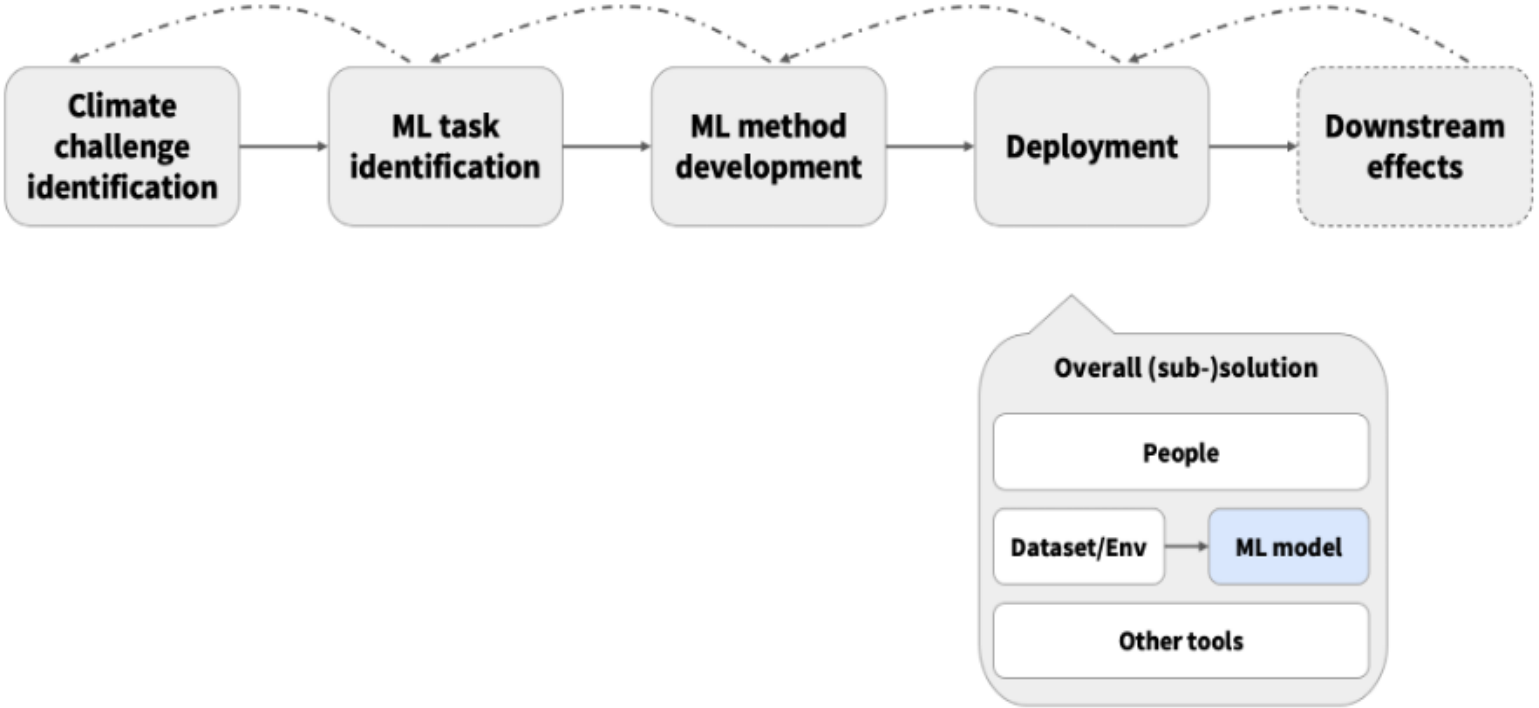
- Avalie as soluções de IA propostas para os cafeicultores.
    - Selecione os casos de uso “adequados para IA”

partici.fi/32112222



Pipelines de dados e caminhos de implantação

Lifecycle of an ML-for-climate project



1. Etapas do pipeline de implantação: desafio climático

Identificação do desafio climático

- Definição do problema e avaliação das necessidades das partes interessadas

Integração do estudo de caso: cafeicultores

- **Sistema atual**: cadastro nacional de cafeicultores para conformidade com o EUDR (rastreabilidade)
- **Lacuna**: o cadastro sozinho não ajuda os agricultores a se adaptar à mudança climática
- Pequenos agricultores: o grupo mais vulnerável à mudança climática.
- Desafio para os agricultores: falta de informação para perceber e responder à mudança climática.

Mbwambo, S. et al (2021), Climate Change Perceptions by Smallholder Coffee Farmers in Northern and Southern Highlands of Tanzania, *Climate*; 9, 90. https://doi.org/10.3390/cli9060090

2. Etapas do pipeline de implantação: oportunidades de IA

Definição da tarefa de AM

- Traduzir o problema em previsão/classificação/controle ótimo formal

Problema	**Abordagem tradicional**	**Solução de IA**	**Valor agregado**
Avaliação de risco climático	Médias históricas	Previsão do tempo com AM	Previsões no nível da propriedade
Verificação de desmatamento	Visitas de campo manuais	Satélite + visão computacional	Monitoramento em tempo real
Previsão de produtividade	Experiência de especialistas	Modelos de ensemble	Momento preciso

3. Etapas do pipeline de implantação: modelagem

Desenvolvimento do método de AM

- Treinamento, validação e ciclos de iteração do modelo
- Disponibilidade vs. adequação dos dados (qualidade > quantidade)
- Engenharia de atributos para dados climáticos (temporais, espaciais, ambientais)
- Arcabouço de seleção de modelos: trade-off interpretabilidade vs. acurácia
- Desafios de validação em contextos climáticos (ambientes não estacionários)

3. Etapas do pipeline de implantação: modelagem

Desenvolvimento de modelos de AM para cafeicultores

- Visão computacional: detecção de desmatamento (ChangeNet / U-Net)
- Séries temporais: previsão de produtividade (LSTM / Prophet)
- Classificação: pontuação de risco de doenças (floresta aleatória / XGBoost)
- Recomendação: janelas ideais de colheita (otimização com RL)

4. Etapas do pipeline de implantação: implantação

Implantação

- Produção completa com infraestrutura e suporte

Resultados para os cafeicultores (ideal)

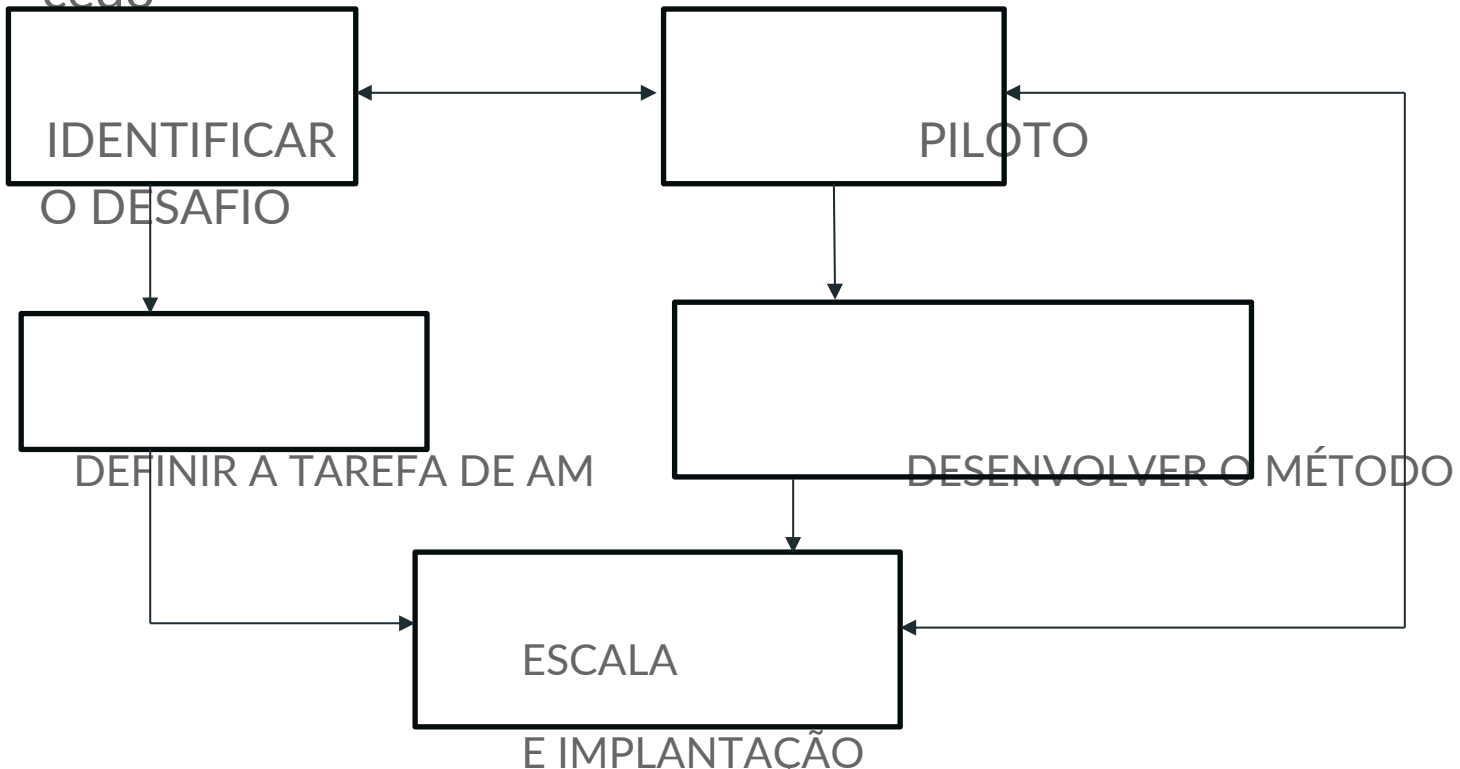
- Relatórios de conformidade com o EUDR (automatizados)
- Alertas de risco climático (SMS/USSD)
- Recomendações de assistência técnica (língua local)
- Elegibilidade a créditos de carbono

Etapas do pipeline de implantação: resumo

1. Identificação do desafio climático -> definição do problema e avaliação das necessidades das partes interessadas
2. Definição da tarefa de AM -> traduzir o problema em previsão/classificação/controle ótimo formal
3. Desenvolvimento do método -> treinamento, validação e ciclos de iteração do modelo
4. Piloto/teste -> implantação limitada medindo usabilidade + sinais iniciais
5. Escala/implantação -> produção completa com infraestrutura e suporte
6. Monitoramento/manutenção -> acompanhamento do desempenho, correção de deriva, atualizações

Ciclo de retroalimentação

- Cada seta é uma oportunidade de descobrir desalinhamentos mais cedo



Ciclos de retroalimentação entre as etapas

- A iteração é necessária: não é linear
- As primeiras implantações orientam o refinamento do modelo
- Dados de desempenho no mundo real remodelam as premissas iniciais

O AM como um componente entre outros

- Dependências de infraestrutura (conectividade, hardware)
- Requisitos de humano no circuito
- Integração com fluxos de trabalho e sistemas de decisão existentes

Checkpoint 2

- Você lidera um projeto de IA para o clima que prevê o risco de incêndios florestais com imagens de satélite e dados meteorológicos. Sua equipe está desenhando o caminho de implantação.

Pergunta:

- Qual afirmação reflete MELHOR um desenho sólido de pipeline para este projeto?

partici.fi/32112222



Avaliação de impacto e métricas

Do impacto às métricas

Processo:

- Definir primeiro o resultado desejado,
- Identificar proxies mensuráveis
- Validar a cadeia causal

Indicadores fáceis ≠ indicadores significativos

Do impacto às métricas

Resultado desejado	**Indicadores**
Redução das emissões de gases de efeito estufa	Consumo de combustível ↓, uso de kWh ↓
Melhoria da resiliência de adaptação	Gravidade das perdas de safra ↓, sucesso das evacuações ↑
Eficácia da conservação	Estabilidade das populações de espécies ↑
Promoção da equidade	Participação de domicílios marginalizados ↑

O que pode e o que não pode ser medido

- Medidas diretas vs. proxies
- Variáveis latentes que exigem inferência
- Defasagens entre a intervenção e os efeitos observáveis

Limitações da medição

Medido diretamente	Exige inferência / modelagem
Consumo de eletricidade da rede	Eficiência dos eletrodomésticos
Índices de vegetação por satélite	Biodiversidade sob o dossel
Volumes de commodities exportadas	Distribuição de renda dos agricultores
Sensores de ocupação de edifícios	Percepção de conforto dos ocupantes
Contagens de tráfego	Exposição dos usuários à poluição do ar no trajeto

Variáveis não medidas acumulam viés ao longo do tempo se não forem tratadas explicitamente

Métricas de curto vs. longo prazo

Dimensão	**Curto prazo**	**Longo prazo**
Exemplos	Taxa de adoção, acurácia do modelo	Redução de emissões, ganhos de resiliência
Frequência de medição	Contínua/semanal	Anual/bienal
Dificuldade de atribuição	Baixa-média	Alta
Alavancas de intervenção	Design do produto, UX	Políticas, investimento em infraestrutura

Checkpoint 3

- Sua equipe trabalha em um projeto de IA para o clima que usa imagens de satélite para detectar desmatamento ilegal em áreas protegidas de floresta tropical. Ela está desenhando o arcabouço de avaliação de impacto para financiadores e partes interessadas.

Pergunta:
Qual arcabouço de métricas capta MELHOR o impacto climático real, evitando armadilhas comuns de medição?

partici.fi/32112222



Partes interessadas, poder e sustentabilidade

Mapeamento das partes interessadas

Categoria	Características	Necessidades de engajamento
Formuladores	Reguladores, financiadores, formuladores de políticas	Consultas formais, relatórios de transparência
Usuários	Operadores, trabalhadores da linha de frente, comunidades	Oficinas de codesenho, capacitação
Partes afetadas	Comunidades impactadas indiretamente	Mecanismos de responsabilização, canais de reclamação
Opositores	Grupos que arcam com perdas concentradas	Ofertas de mitigação, repartição alternativa de benefícios

Exercício de consciência de poder: quem tem voz hoje? Quem não tem representação?

A escada de participação cidadã de Arnstein

Degraus de empoderamento

- NÍVEL 3: PARTICIPAÇÃO SIMBÓLICA
    - Consulta (opiniões solicitadas, incorporação não garantida)
    - Apaziguamento (papéis consultivos menores, influência limitada)
    - Informação (comunicação de mão única, retorno opcional)
- NÍVEL 2: TRANSFERÊNCIA DE PODER
    - Parceria (responsabilidades de governança compartilhadas e negociadas)
    - Poder delegado (a comunidade tem poder de veto/aprovação)
    - Controle cidadão (a autonomia local domina as decisões)

Consciência das dinâmicas de poder

PERGUNTAS DE CONTROLE

- A quem pertence a soberania sobre os dados brutos?
- Quem acessa de forma independente os pesos do modelo treinado?
- Quem controla o fornecimento da infraestrutura computacional?
- Quem decide o roteiro de funcionalidades prioritárias?

Dinâmicas de poder

DISTRIBUIÇÃO DE BENEFÍCIOS

- Para onde vão exatamente os principais ganhos financeiros?
- Empregos criados internamente ou externamente?
- Transferência de conhecimento que permita autossuficiência local?

ALOCAÇÃO DE CUSTOS:

- Quem arca principalmente com os custos de conectividade?
- As obrigações de manutenção são atribuídas adequadamente?
- Os riscos são compartilhados de forma proporcional e responsável?

Guia de pontuação: maioria afirmativa = alinhamento equitativo com tendência positiva

Arcabouço de sustentabilidade

- Viabilidade econômica para além do financiamento piloto
- Apropriação institucional e capacidade de manutenção
- Adesão da comunidade e desenvolvimento de competências locais
- Estratégias de saída que preservem valor

Estudo de caso aprofundado

Cafeicultores

- **Desafio**: o novo Regulamento da UE sobre desmatamento (EUDR) exige cadeias de fornecimento de café rastreáveis.
- **Infraestrutura atual**: cadastro central nacional em desenvolvimento, que registra agricultores, georreferencia propriedades e armazena dados no nível da propriedade acessíveis aos fornecedores antes da exportação.
- **Partes interessadas**: pequenos agricultores, cooperativas, conselho do café (regulador e órgão certificador), instituto nacional de pesquisa do café, exportadores, importadores da UE.

Produtos de dados climáticos com IA propostos para os agricultores

Descrição do produto	Problema tratado	Considerações de implementação
Modelo de previsão de produtividade	Planejamento sob incerteza, momento de venda	Exige dados históricos de produtividade e integração de imagens de satélite
Alerta precoce de geada/doenças	Prevenção de perdas	Sistema de alerta móvel; precisa de validação em campo
Orientador da janela ideal de colheita	Qualidade constante, maximização do preço	Análise de padrões climáticos + modelagem da maturação dos frutos
Estimador de sequestro de carbono	Possível elegibilidade a créditos de carbono	Modelagem do solo, acompanhamento agroflorestal
Painel de previsão de preços	Maior poder de barganha	Agregação de inteligência de mercado; risco de assimetria de informação

Perguntas críticas

1. **Governança de dados:** a quem pertencem os dados de geolocalização e de produção dos agricultores? Isso poderia se tornar exploratório se o acesso dos fornecedores tiver prioridade sobre a privacidade e os benefícios dos agricultores?
2. **Equidade:** os agricultores com tecnologia ganharão vantagens competitivas enquanto produtores marginalizados perdem posição no mercado?
3. **Dependência de infraestrutura:** lacunas de conectividade: ferramentas pensadas para funcionar offline podem evitar a exclusão?
4. **Capacitação:** o cadastro dá aos agricultores informações acionáveis ou apenas extrai dados para fins de conformidade?
5. **Mecanismos de redistribuição de poder:** plataformas de análise de propriedade das cooperativas versus sistemas centralizados controlados pelo governo ou pelos compradores.

Desenho participativo

- Agricultores como codesenvolvedores, não apenas fontes de dados
- Criar ciclos de retroalimentação em que os resultados do modelo melhorem visivelmente as decisões dos agricultores.
- A conformidade regulatória não deve ofuscar os resultados de desenvolvimento.

Lista de leituras

CEIMIA. (2025). State of AI in climate action in Sub-Saharan Africa. International Center of Expertise in Montreal on Artificial Intelligence. https://shorturl.at/STDyd

Mienye, I. D., Sun, Y., & Ileberi, E. (2024). Artificial intelligence and sustainable development in Africa: A comprehensive review. *Machine Learning with Applications*, *18*, 100591. https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2024.100591

Nhemachena, C., et al. (2024). Using artificial intelligence in support of climate change adaptation Africa: Potentials and risks. Humanities and Social Sciences Communications, 11(4223). https://doi.org/10.1057/s41599-024-04223-7

UNFCCC & UNIDO (2025). Artificial Intelligence for Climate Action: Advancing Mitigation and Adaptation in Developing Countries. TEC Technical Paper. https://shorturl.at/flofg



Obrigada