



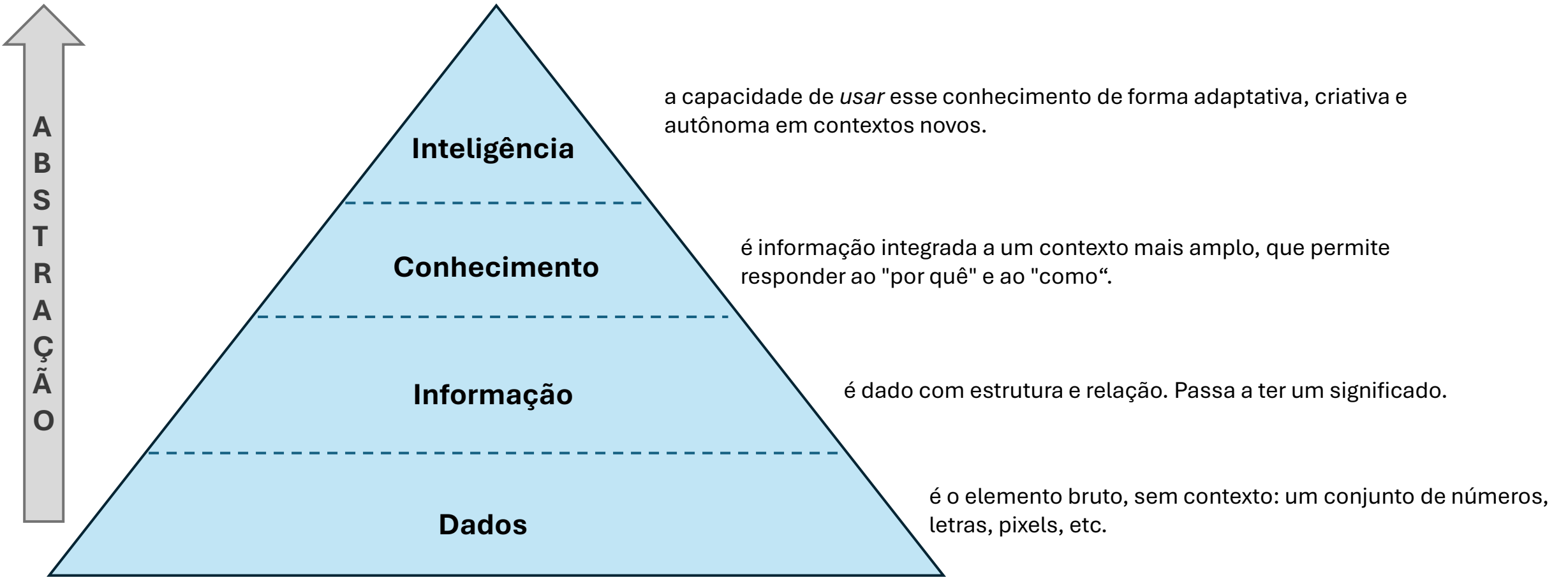
GeoAI na Geoinformática

Édipo Henrique Cremon

edipo.cremon@inpe.br

SER-350-3 & CAP395
Introdução à Geoinformática

O que é Inteligência?



O que é Inteligência Artificial (IA)?



Inteligência Artificial (IA) é , de forma genérica, a capacidade de sistemas computacionais realizarem tarefas que, se feitas por humanos, exigiriam inteligência, tais como percepção, raciocínio, aprendizado e tomada de decisão.

O que é Inteligência Artificial (IA)?



Inteligência Artificial (IA) é , de forma genérica, a capacidade de sistemas computacionais realizarem tarefas que, se feitas por humanos, exigiriam inteligência, tais como percepção, raciocínio, aprendizado e tomada de decisão.

Mas a IA tem inteligência?



Argumentos contrários:

- Inteligência, especialmente na tradição fenomenológica, pressupõe *intencionalidade*. O pensamento é sempre "sobre" algo, há um sujeito que se dirige ao mundo. A IA não tem esse "dirigir-se".
- IAs, como LLMs, não generalizam da forma que humanos fazem. Fora da distribuição de treinamento, falham de formas que nenhum ser inteligente falharia. Isso revela que o que parece "raciocínio" é predição sofisticada.

O que é Inteligência Artificial (IA)?



Inteligência Artificial (IA) é , de forma genérica, a capacidade de sistemas computacionais realizarem tarefas que, se feitas por humanos, exigiriam inteligência, tais como percepção, raciocínio, aprendizado e tomada de decisão.

Mas a IA tem inteligência?



Argumentos favoráveis:

- **Definir inteligência** de forma rígida **é um problema** em si mesmo. Se um sistema resolve problemas complexos, adapta respostas ao contexto, gera soluções criativas e supera humanos em tarefas cognitivas específicas, *qual critério externo e objetivo* usamos para negar que há inteligência?.
- Toda vez que uma máquina aprende a fazer algo que antes parecia exclusivo da inteligência humana (xadrez, diagnóstico médico, síntese de texto), dizemos "ah, mas isso não é inteligência *de verdade*". O critério parece mover-se sempre que a máquina chega perto.

O que é Inteligência Artificial (IA)?



Inteligência Artificial (IA) é , de forma genérica, a capacidade de sistemas computacionais realizarem tarefas que, se feitas por humanos, exigiriam inteligência, tais como percepção, raciocínio, aprendizado e tomada de decisão.

Mas a IA tem inteligência?

O problema central é que **usamos a mesma palavra para dois fenômenos diferentes**: a inteligência como *capacidade funcional de resolver problemas* e a inteligência como *experiência subjetiva de compreender e existir no mundo*. A IA possui a primeira, em graus impressionantes. Não possui a segunda (ou não podemos afirmar que possui ainda).

Chamar isso de "inteligência artificial" é, portanto, **uma metáfora funcional, mas filosoficamente incompleta**. O termo cumpre um papel prático e descritivo, mas carrega uma promessa ontológica que os sistemas atuais não sustentam.

Diferença entre *machine learning*, inteligência artificial e *deep learning*: é tudo a mesma coisa?

Inteligência Artificial

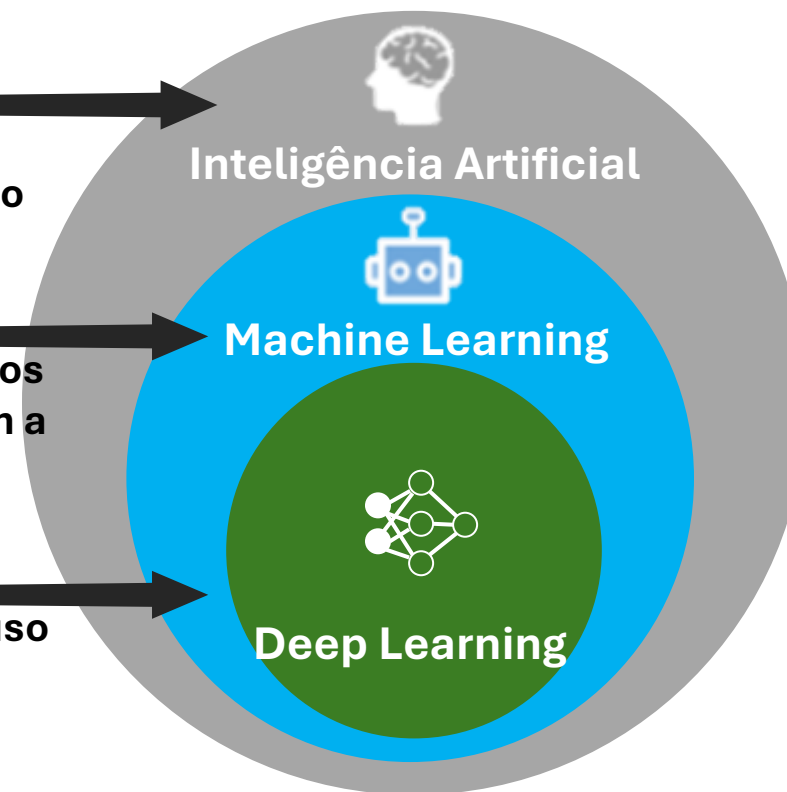
Qualquer técnica que permite computadores imitarem o comportamento humano

Machine Learning

Subárea da IA que usa métodos estatísticos para ensinar máquinas a aprenderem com a experiência

Deep Learning

Subárea do Machine Learning focada no uso de redes neurais profundas para o aprendizado



REVIEW

doi:10.1038/nature14539

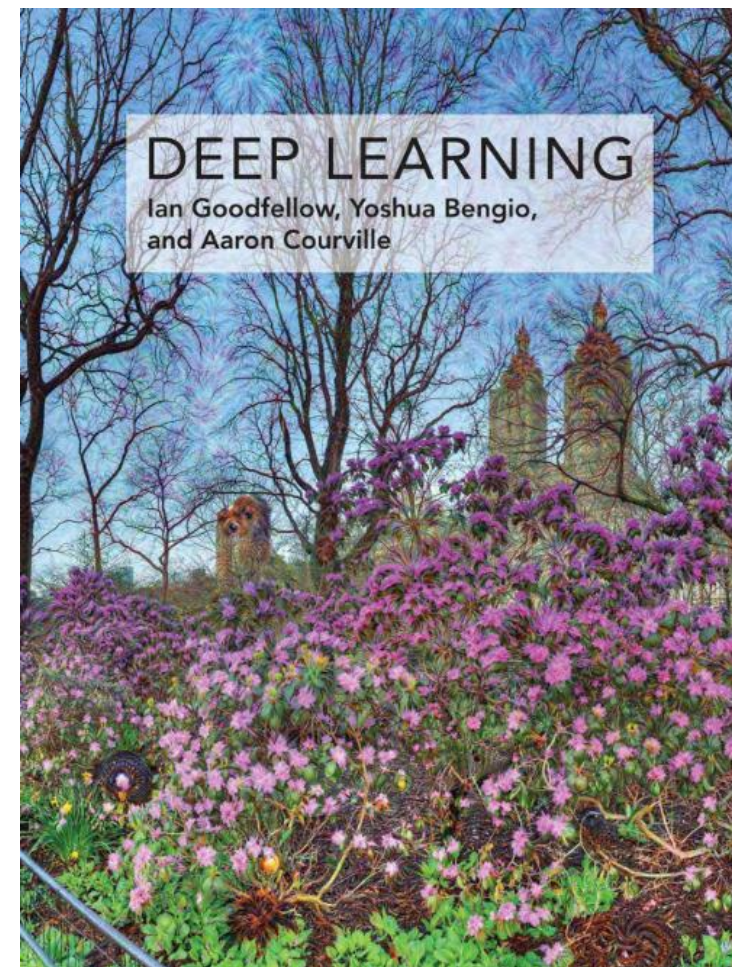
Deep learning

Yann LeCun^{1,2}, Yoshua Bengio³ & Geoffrey Hinton^{4,5}

LeCun, Y.; Bengio, Y.; Hinton, G. Deep learning. *Nature* **521**, 436–444 (2015). <https://doi.org/10.1038/nature14539>

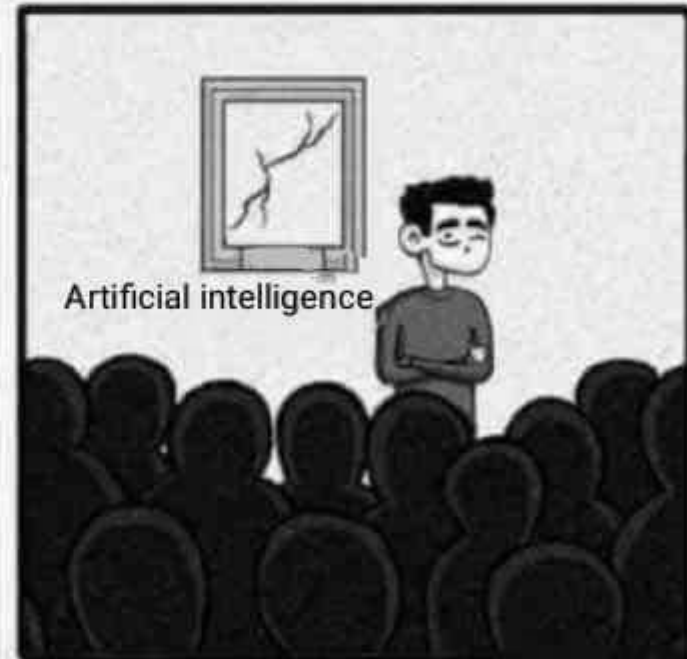
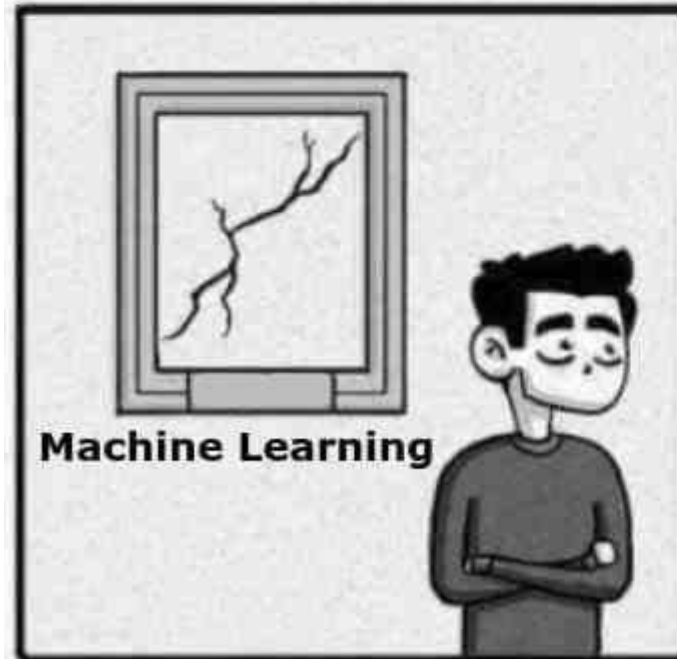
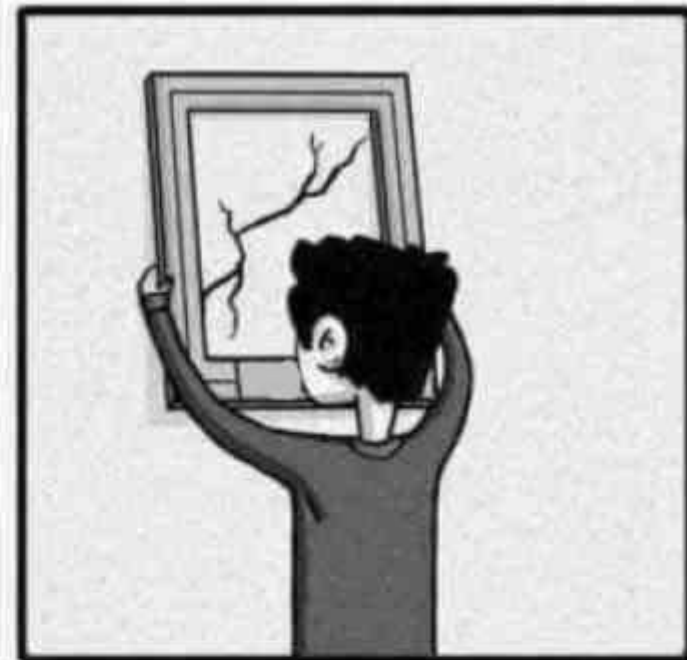
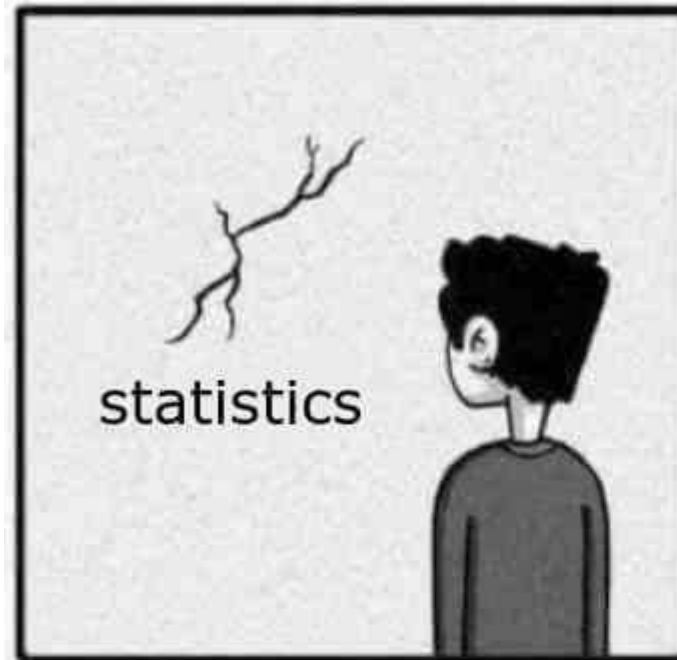
A light green circle containing the text 'Deep Learning' in a bold, black, sans-serif font.

Deep
Learning



Goodfellow, I.; Bengio, Y.; Courville, A. Deep Learning. The MIT Press, 2016. Disponível em:
<https://virtualmmx.ddns.net/gbooks/DeepLearning.pdf>

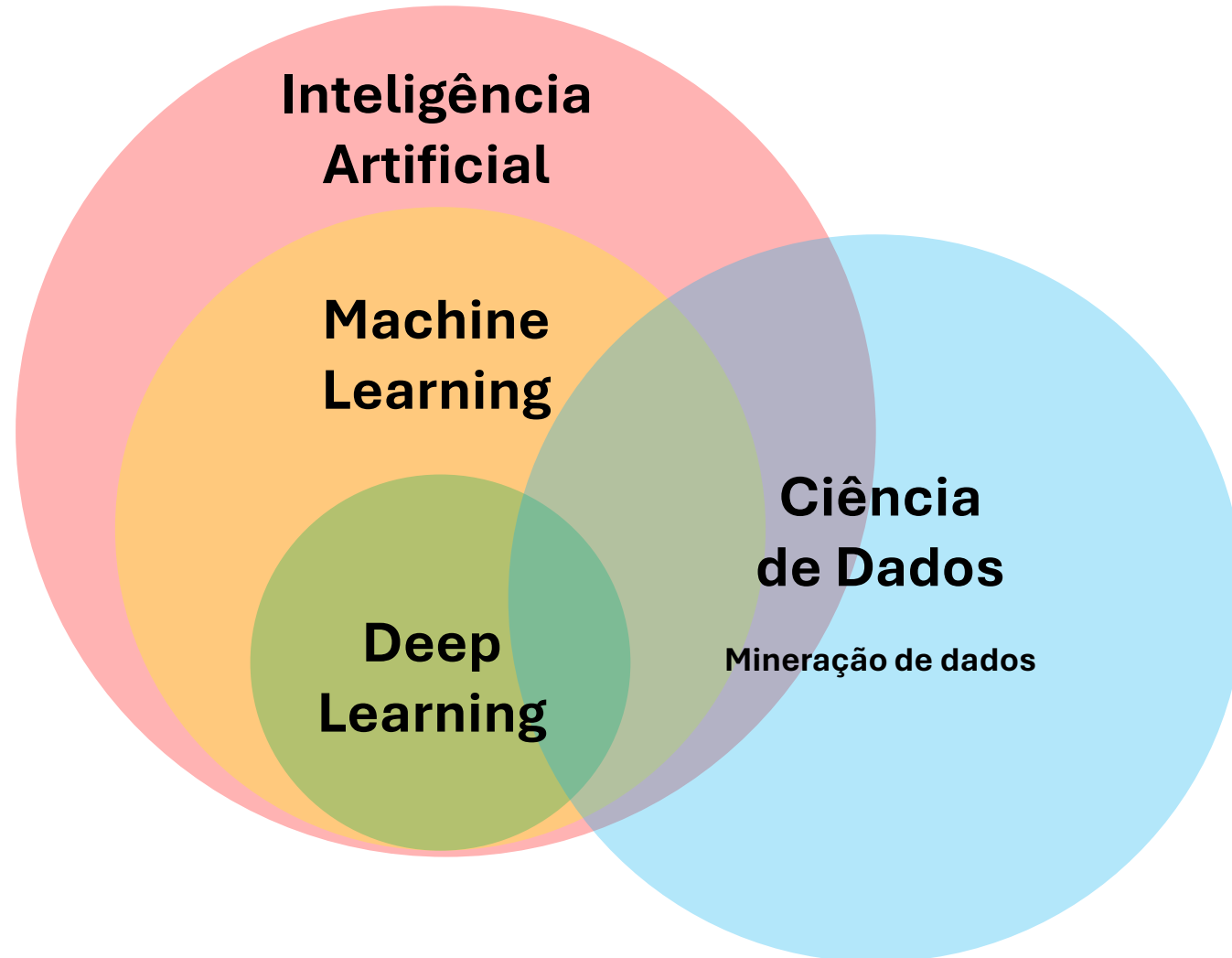
Definições



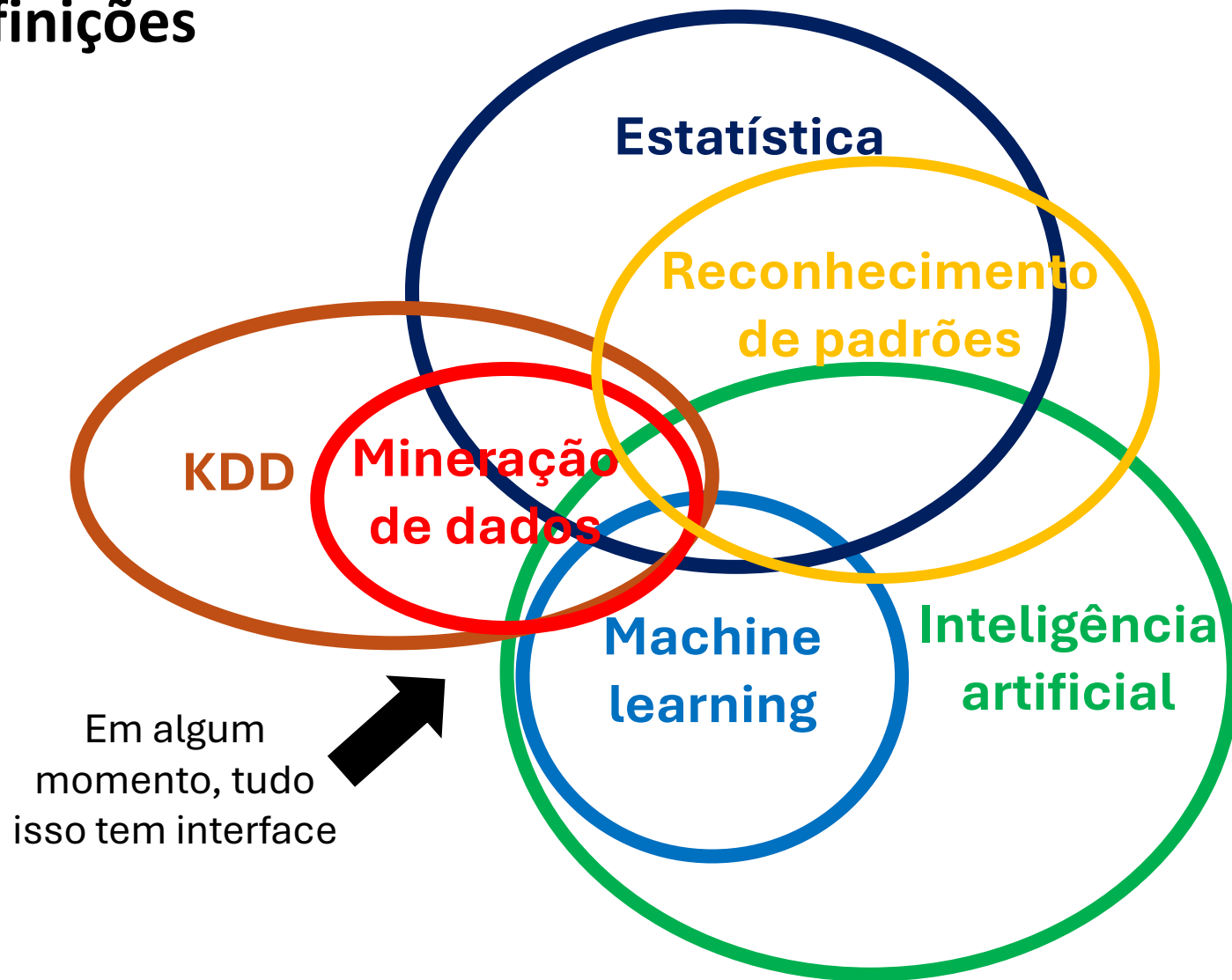


Será que eu trabalho
com inteligência
artificial?

Definições



Definições



Em algum momento, tudo isso tem interface

GeoAI (Inteligência Artificial Geoespacial / Geográfica) é a integração de técnicas de inteligência artificial, como aprendizado de máquina e *deep learning*, com dados geoespaciais.

A GeoAI busca **analisar, modelar e extrair conhecimento de dados geoespaciais**, considerando explicitamente suas dimensões espaciais e, frequentemente, temporais.

GeoAI - *Geospatial Artificial Intelligence*



Não existe uma definição única (<https://geoai.icaci.org/definitions/>)

GeoAI está associado ao desenvolvimento de programas computacionais inteligentes que imitam processos de percepção humana, raciocínio espacial e descoberta sobre fenômenos geográficos, com foco em contextos espaciais e raízes na Geografia e na GIScience (Gao, 2021)

<https://www.oxfordbibliographies.com/display/document/obo-9780199874002/obo-9780199874002-0228.xml>

GeoAI é o uso de métodos e técnicas de Inteligência Artificial para resolver problemas geoespaciais (Richeter; Scheneider, 2023)

<https://doi.org/10.1007/s13218-022-00796-0>

GeoAI é a aplicação de IA fundida com dados, ciência e tecnologia geoespacial para acelerar a compreensão do mundo real sobre oportunidades de negócio, impactos ambientais e riscos operacionais (ESRI).

<https://www.esri.com/en-us/capabilities/geoai/overview>

A distinção entre GeoAI "*aspatial*" e "*spatially explicit*"



GeoAI convencional simplesmente importa modelos de IA para problemas geográficos sem modificação, não incorporando localização explicitamente como parte do *input*.

GeoAI espacialmente explícita incorpora a localização, autocorrelação espacial e heterogeneidade espacial de forma nativa nos modelos (Liu; Biljecki, 2022)

<https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102936>

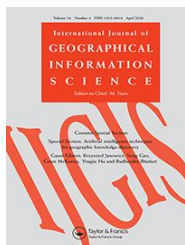
IA aplicada à geografia ou GeoAI



GeoAI é um subcampo da ciência de dados espaciais que utiliza avanços em técnicas e culturas de dados para apoiar a criação de informação geográfica mais inteligente, bem como métodos, sistemas e serviços para aplicações derivadas, com ênfase na **bidirecionalidade**: não só "AI para Geo", mas também "Geo para AI".





<https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1684500>

GeoAI genuíno não é só aplicar redes neurais em shapefiles ou raster, é também usar princípios geográficos (Primeira Lei de Tobler, heterogeneidade espacial, dependência de escala) para **melhorar a própria IA**.




Editorial

GeoAI: spatially explicit artificial intelligence techniques for geographic knowledge discovery and beyond

Krzysztof Janowicz, Song Gao , Grant McKenzie , Yingjie Hu  & Budhendra Bhaduri 

Pages 625-636 | Published online: 30 Oct 2019

 Cite this article

 <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1684500>



GeoAI – o que temos de hype



Técnicas que hoje são rotuladas como "GeoAI" existem há décadas na geoinformática:

- Geoestatística e krigagem -> que envolve inferência espacial robusta há décadas
- Redes neurais para classificação de imagens de satélite -> anos 1990
- Algoritmos genéticos para otimização de rotas e localização de facilidades -> anos 1990-2000
- Random Forest e SVM para mapeamento de cobertura da terra -> anos 2010

Tudo isso, pelo critério amplo de IA (sistemas que imitam raciocínio ou aprendizado), já seria "GeoAI". O *rebranding* é real e tem motivação claramente mercadológica e acadêmica, isto é, publicar com "GeoAI" rende mais citações, interesse e financiamento do que publicar com "classificação supervisionada", por exemplo.

GeoAI – o que temos de novo

O problema não é que GeoAI seja falso, é que o termo é **impreciso e oportunista**. Ele serve como guarda-chuva que mistura:

- Coisas velhas com nome novo (hype puro)
- Aplicações incrementais de ML (*machine learning*) clássico em contexto geográfico (evolução modesta)
- Avanços reais trazidos pelo *deep learning*, *LLMs integradas aos sistemas de geoinformática* e modelos de fundação (novidade genuína)

Essa imprecisão é prejudicial porque **dificulta avaliação crítica**, infla expectativas e, paradoxalmente, pode desacreditar os avanços reais quando o hype não se sustenta.

Tudo isso, pelo critério amplo de IA (sistemas que imitam raciocínio ou aprendizado), já seria "GeoAI". O *rebranding* é real e tem motivação claramente mercadológica e acadêmica, isto é, publicar com "GeoAI" rende mais citações, interesse e financiamento do que publicar com "classificação supervisionada", por exemplo.

GeoAI – o que temos de novo



Deep learning aplicado a dados geoespaciais, especialmente visão computacional em imagens de sensoriamento remoto, faz coisas que eram computacionalmente inviáveis antes.

"Todo padrão visual discriminável por um humano pode, em princípio, ser aprendido por uma rede neural com dados e arquitetura adequados."

GeoAI – Visão computacional



Classificação de cenas

Definição:

A Classificação de Cena, ou Classificação de Imagem, é o nível mais macro. Aqui, o modelo (geralmente uma CNN ou um Vision Transformer) recebe um 'patch' ou recorte da imagem e atribui uma única etiqueta a ele

Principais Características

- O modelo atribui o rótulo levando em conta a classe predominante no patch
- É ideal para triagem de grande conjuntos de dados
- Há modelos baseados em convolução e transformadores visuais



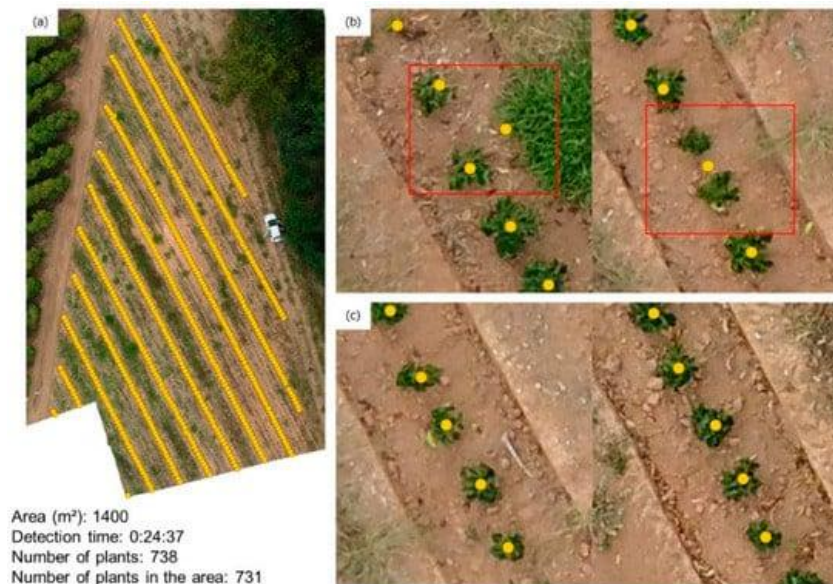
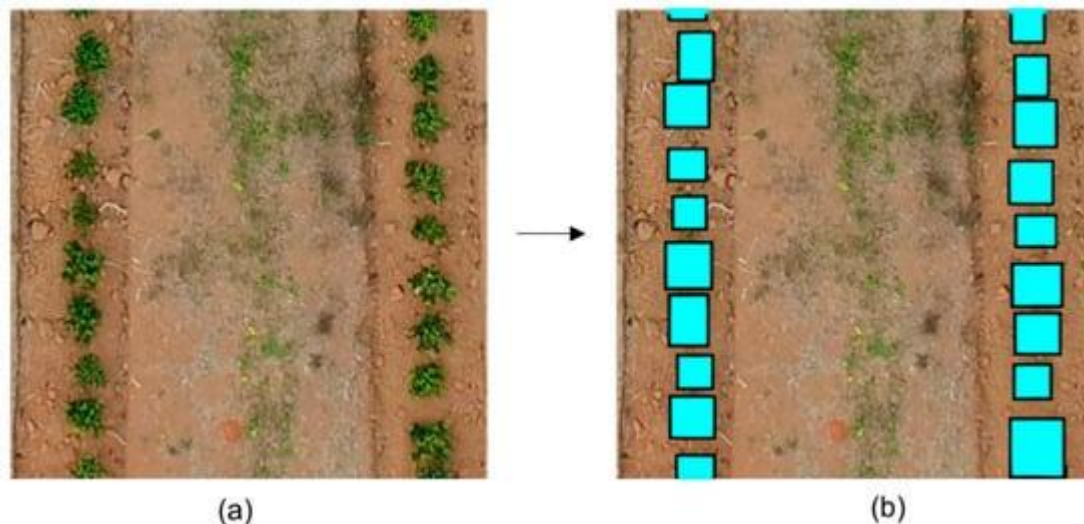
Detecção de objetos

Definição:

É a combinação de duas técnicas: classificação e localização do objeto em imagem (ou vídeo). Pode ser usada para identificar múltiplos objetos, categoriza-los e desenhá-los em uma caixa delimitadora ao redor de cada um.

Principais Características

- O modelo lida com objetos discretos e contáveis
- Em imagens de satélite, os objetos costumam ser muito pequenos (como carros) ou ter orientações variadas (navios no mar).
- Monitoramento de tráfego, contagem de gado, vigilância portuária

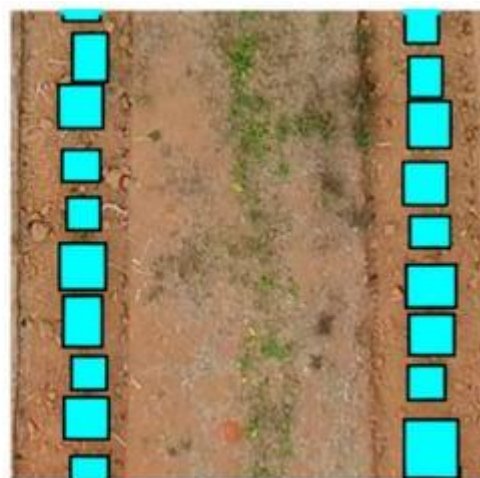


Detecção de objetos

Um exemplo relevante é a detecção de plantas individuais em lavouras com imagens de drones para análise de falhas de plantio — identificar trechos onde sementes não germinaram ou plantas morreram. Nesse contexto, o YOLO (*You Only Look Once*) é a família de modelos mais usada pela combinação de velocidade e acurácia que viabiliza aplicações em campo ou processamento em larga escala.



(a)



(b)



Area (m²): 1400
Detection time: 0:24:37
Number of plants: 738
Number of plants in the area: 731



YOLO: detecta objetos em uma única passada pela imagem. Velocidade extrema. Ideal para monitoramento em tempo real e tecnologia embarcada. O nome não é à toa: você só olha uma vez.

Segmentação semântica

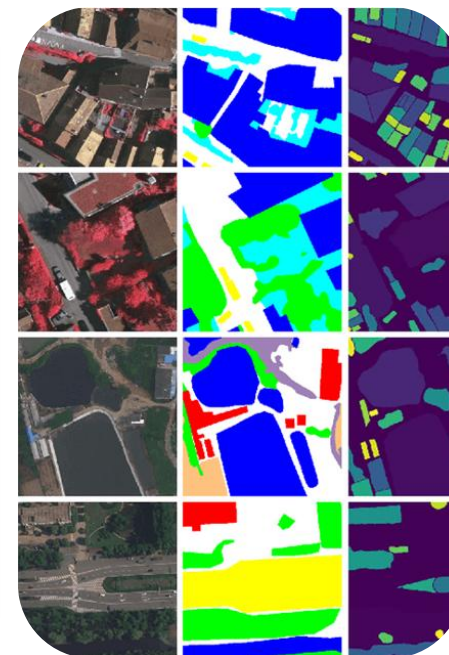
Definição:

é uma técnica de Visão Computacional que consiste em classificar cada pixel de uma imagem em uma categoria (classe) específica, como "estrada", "carro", "vegetação arbórea" ou "solo exposto". O objetivo principal é atribuir um significado (semântica) a cada parte da imagem, criando um mapa de pixels coloridos que delinea com precisão os contornos dos objetos, em vez de apenas desenhar caixas ao redor deles

Principais

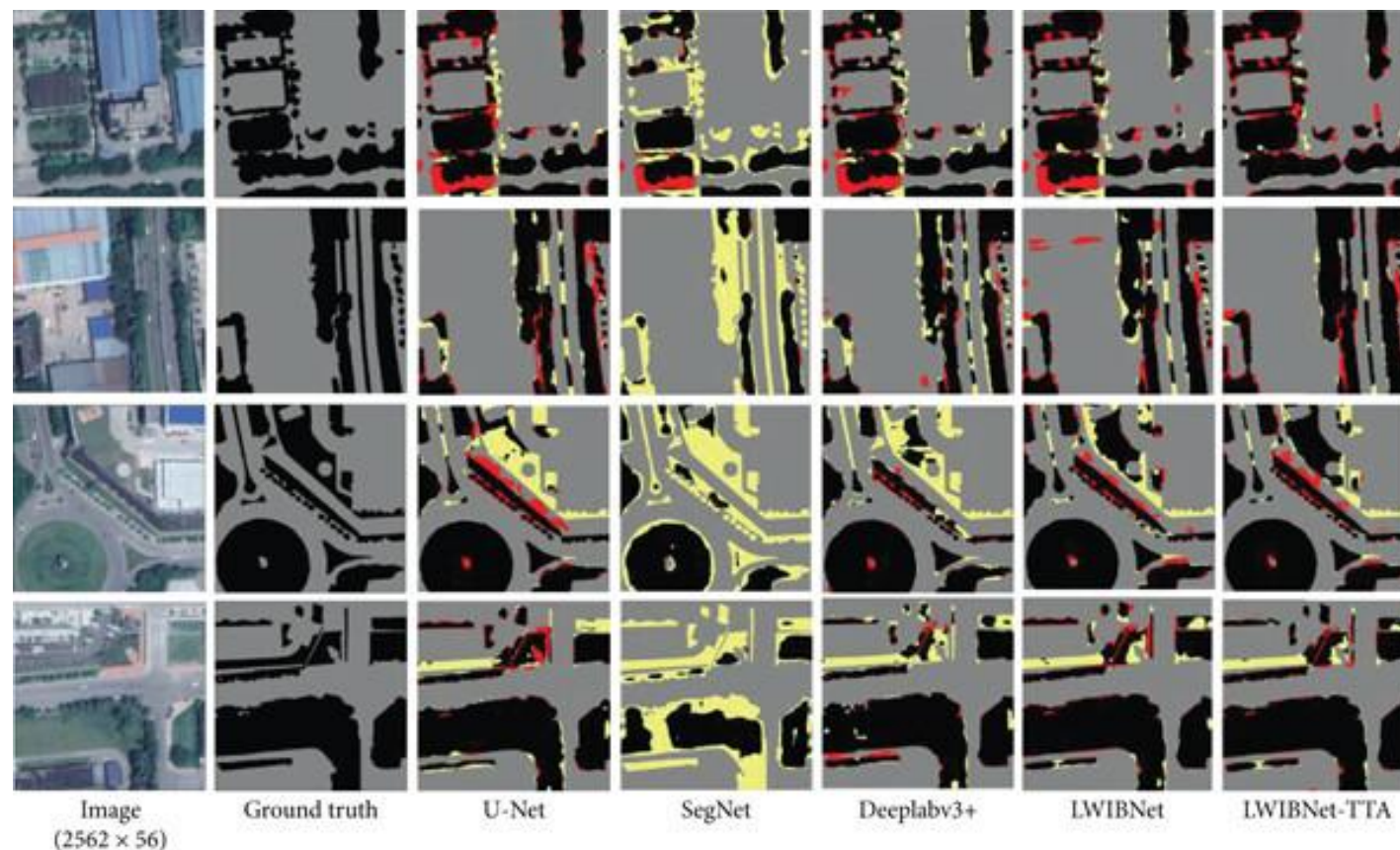
Características

- O modelo aprende a classificar cada pixel da imagem
- Mais precisão e compreensão semântica
- É usado para navegação de carros autônomos, sensoriamento remoto



Segmentação semântica

Classificação binária: cada pixel pertence a uma de duas classes. É o cenário mais comum em monitoramento, por exemplo, água vs. não-água para mapeamento de inundações.



Exemplo de classificação binária entre superfícies impermeáveis e não-impermeáveis

Preto / cinza → classes corretamente classificadas

Vermelho → erro: superfície impermeável classificada como permeável

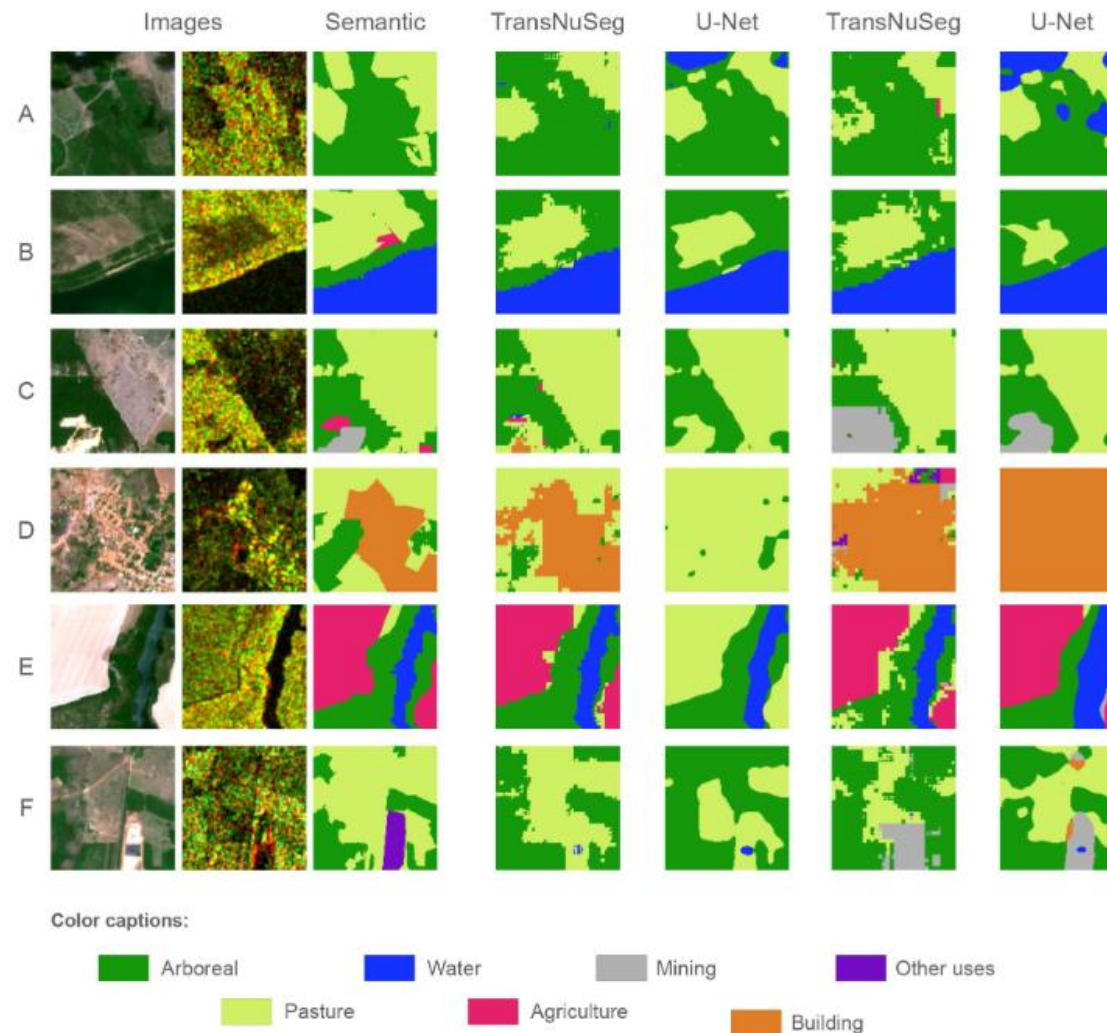
Amarelo → erro: superfície permeável classificada como impermeável

GeoAI – Visão computacional



Segmentação semântica

Classificação multi-classe: cada pixel recebe um rótulo dentre N categorias. O caso típico em geoinformática é o mapeamento de uso e cobertura da terra (floresta, pastagem, área urbana, corpo d'água, solo exposto, etc) em que o modelo precisa distinguir feições espectralmente similares em contextos espaciais diferentes.

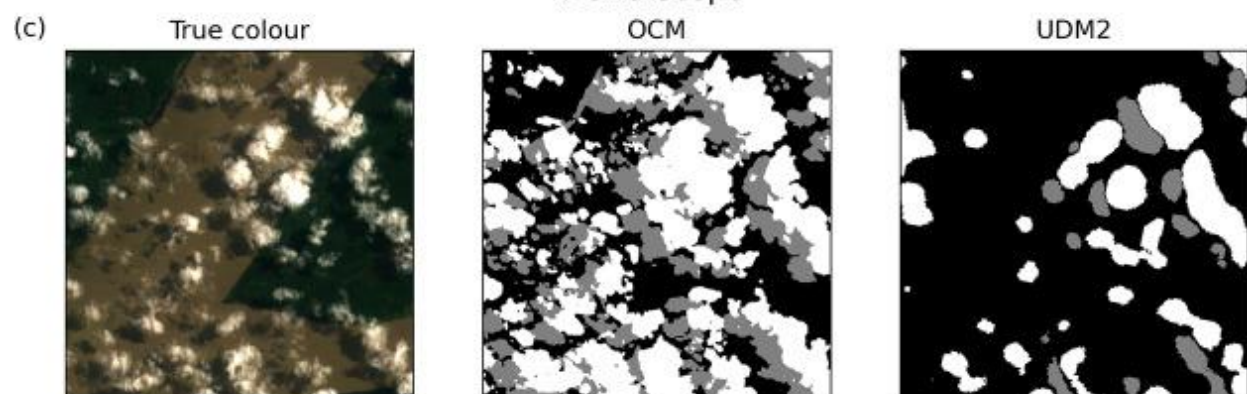
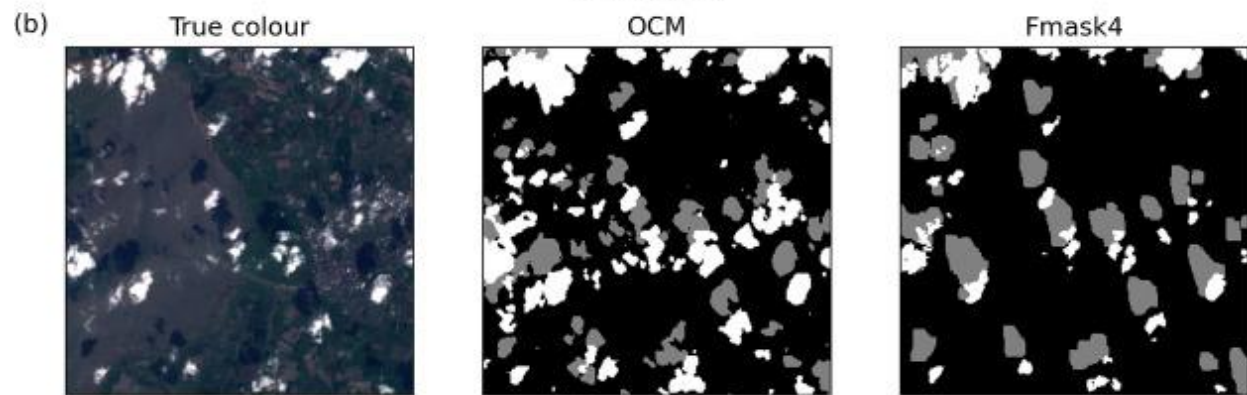
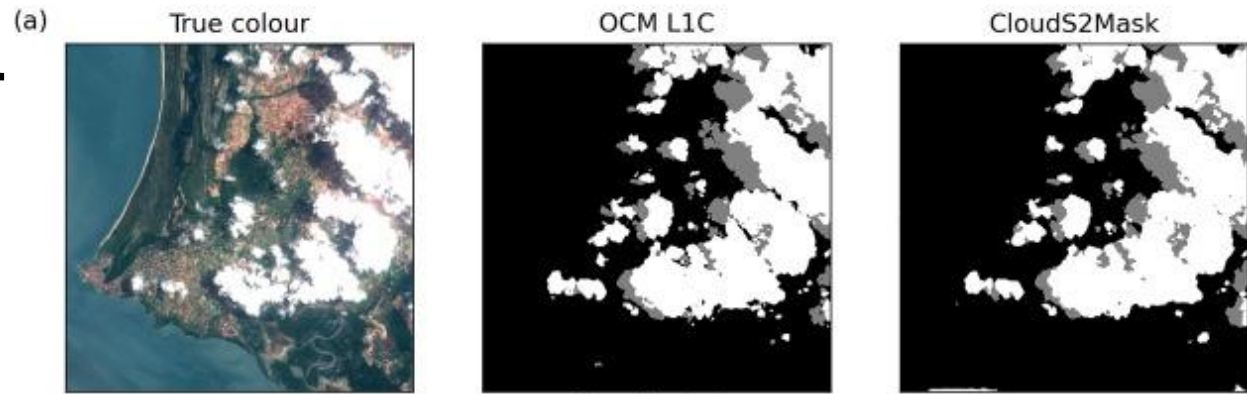


Exemplo de classificação multi-classe para diferentes coberturas no bioma Cerrado usando imagens ópticas e SAR.

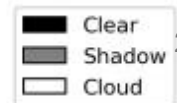
GeoAI – Visão computacional

Segmentação semântica

Classificação multi-classe



Exemplo de classificação multi-classe para gerar dados de qualidade da imagem.



GeoAI – Visão computacional



Segmentação por instância

Definição:

É a tarefa de visão computacional que detecta, delimita e classifica cada objeto individual presente em uma imagem, atribuindo um rótulo único (instância) a cada ocorrência de uma classe. Ela classifica cada pixel como a segmentação semântica, mas vai além ao distinguir cada objeto individualmente como a detecção de objetos.

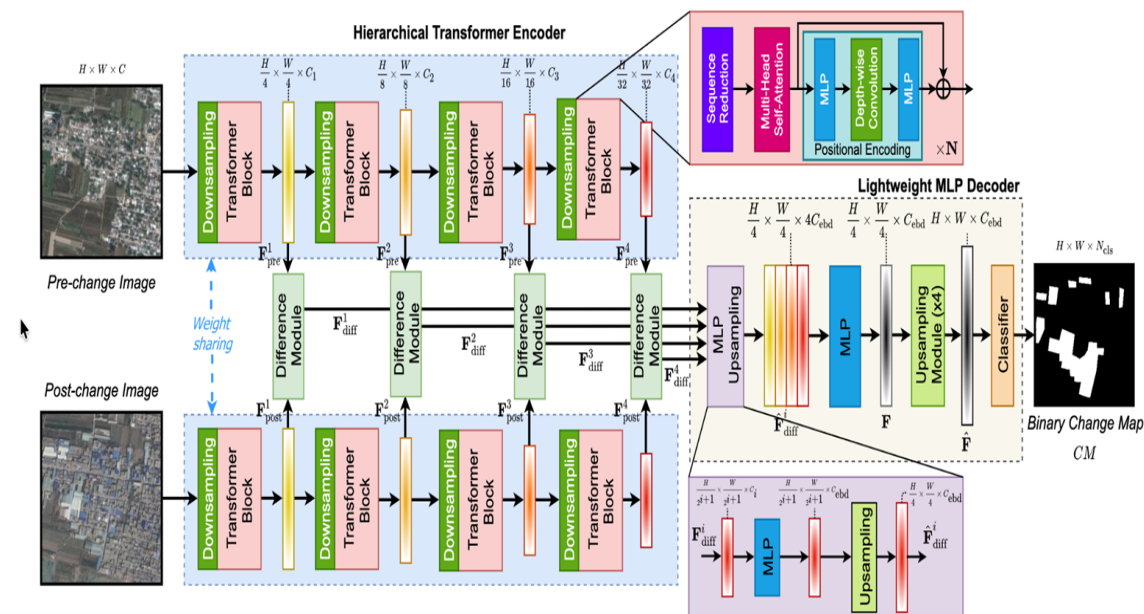


GeoAI – Visão computacional



Detecção de mudanças

O artigo apresenta o *ChangeFormer* para detecção de mudanças (CD) em pares de imagens de sensoriamento remoto alinhadas. Diferente de métodos recentes baseados em redes convolucionais, ele combina um encoder transformer hierárquico com um decoder MLP para capturar detalhes multi-escala e relações de longo alcance. Experimentos em dois conjuntos de dados de detecção de mudanças demonstram que o modelo pode ser treinado de ponta a ponta.

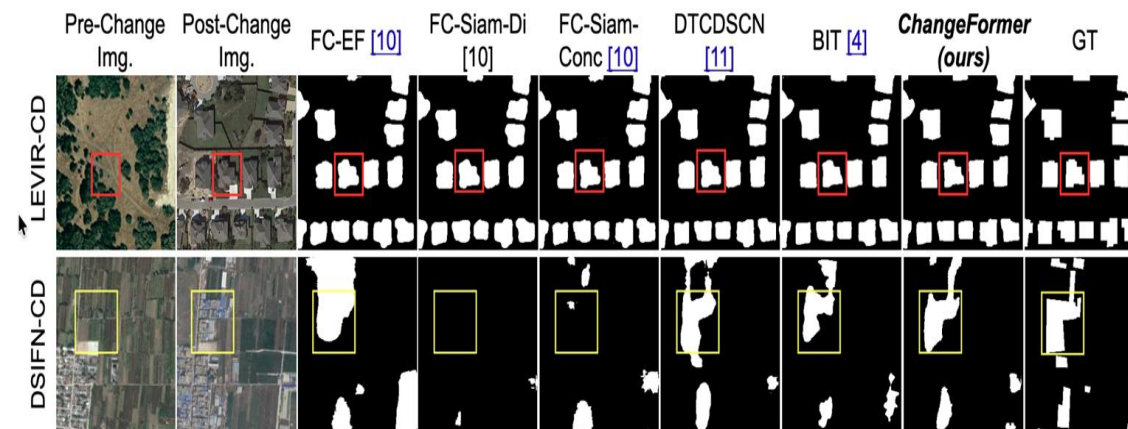


82.42%

Métrica Intersecção sobre a União (IOU)

90.40%

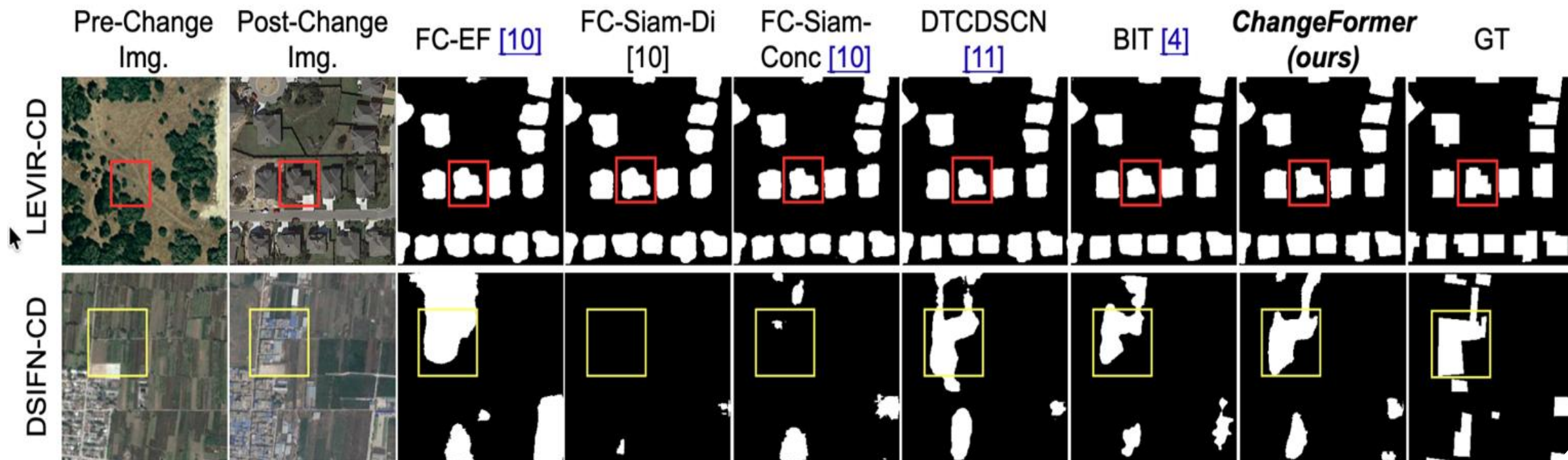
Métrica F1 ponderada



GeoAI – Visão computacional



Detecção de mudanças



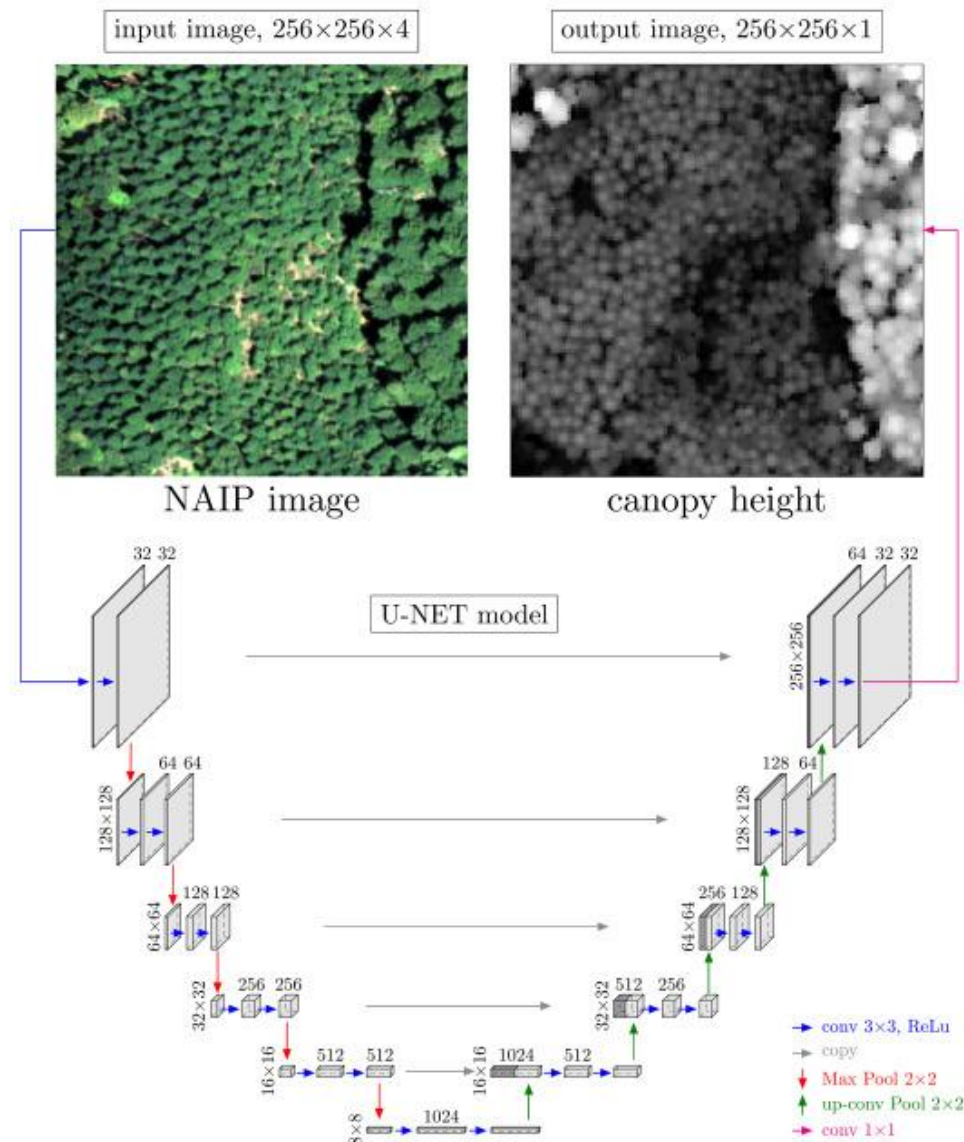
GeoAI – Visão computacional



Modelos de regressão espacialmente explícitos

Definição:

é uma técnica de Visão Computacional que predizem variáveis contínuas a partir de dados geospaciais preservando e explorando dependências espaciais, geralmente por meio de arquiteturas como CNNs que aprendem padrões espaciais diretamente das imagens.



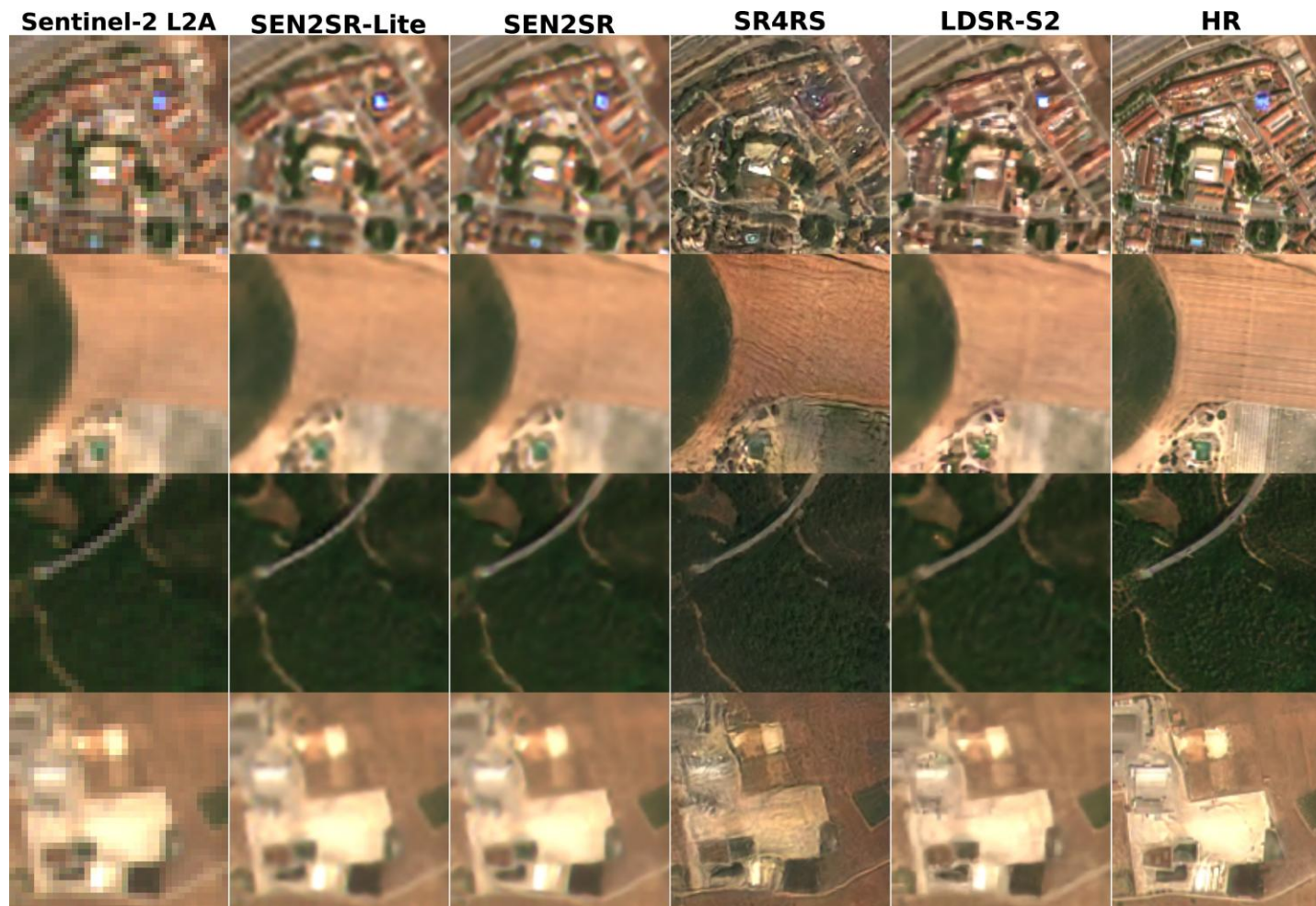
GeoAI – Visão computacional



Super-resolução

Definição:

É o processo de melhorar a aparência da resolução espacial de dados geoespaciais, gerando imagens de maior detalhamento a partir de observações de pior resolução espacial, buscando preservar padrões espectrais e espaciais aprendidos pelos modelos.



<https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.115222>

GeoAI – Visão computacional



Super-resolução



Cuidado com as
alucinações

GeoAI - *Explainable AI (XAI)* em Visão Computacional



Modelos de *deep learning* aplicados a imagens de sensoriamento remoto são, em geral, caixas-pretas: acertam, mas não explicam.

XAI é o conjunto de técnicas que **busca tornar** as decisões de modelos de **IA interpretáveis** para humanos.

No contexto de visão computacional, os métodos mais usados são baseados em **mapas de saliência**, que **destacam** quais **regiões** da imagem mais influenciaram a predição do modelo.

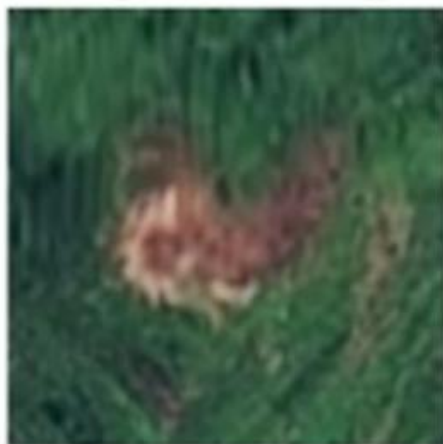
GeoAI - *Explainable AI (XAI)* em Visão Computacional



O método mais difundido é o Grad-CAM (*Gradient-weighted Class Activation Mapping*), proposto por [Selvaraju et al. \(2020\)](#). Ele usa os gradientes da classe de interesse em relação às ativações da última camada convolucional para gerar um mapa de calor que indica "onde o modelo estava olhando".

Referência: <https://doi.org/10.1007/s11263-019-01228-7>

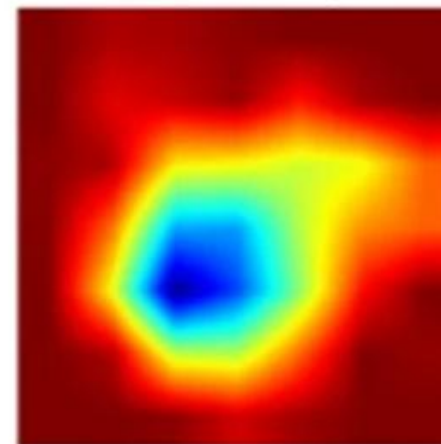
Original image



Real area



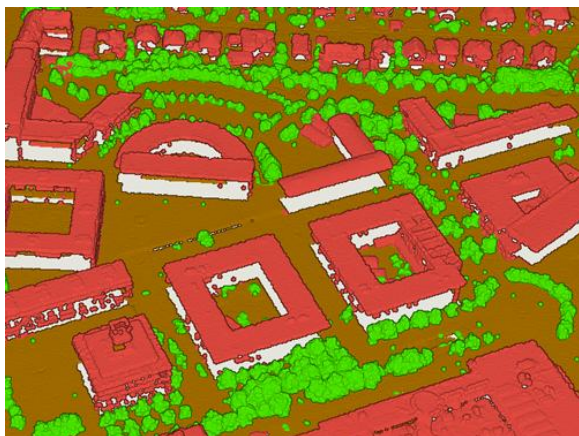
Heatmap



Exemplo: <https://doi.org/10.1007/s40996-023-01193-9>

O assunto é dinâmico e novas propostas de XAI surgem.

Classificação de nuvem de pontos



A classificação de nuvens de pontos por *deep learning* representa uma evolução significativa em relação aos métodos tradicionais baseados em regras e limiares.

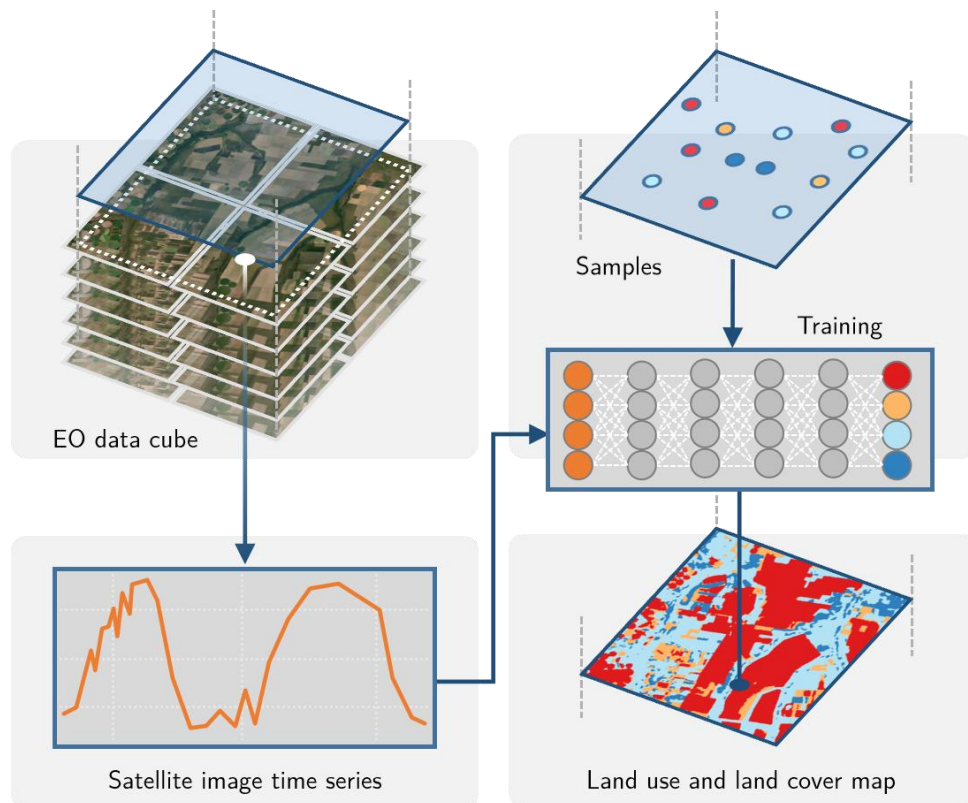
Arquiteturas como PointNet, PointNet++ e RandLA-Net operam diretamente sobre os atributos dos pontos (coordenadas XYZ, intensidade e número de retornos) aprendendo padrões geométricos e espaciais de forma automática.

Em dados de aerolevanteamento LiDAR, essa abordagem permite identificar classes como solo, vegetação, edificações e corpos d'água com maior acurácia e menor necessidade de intervenção manual. Modelos pré-treinados, podem ser aplicados diretamente ou refinados com amostras locais por meio de *fine-tuning*, adaptando-se às características específicas do sensor e da região de interesse.

GeoAI além da visão computacional: Cubos de Dados

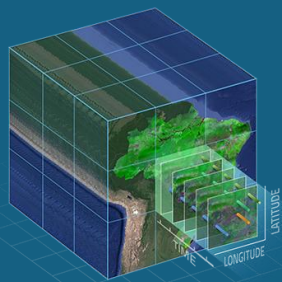


“Time-first, space-later”



<https://e-sensing.github.io/sitsbook/>

- **Mudança de paradigma: do arquivo para o cubo**
Dados organizados como séries espaço-temporais, não como imagens isoladas
- **Análise nativa de séries temporais**
Cada pixel torna-se uma trajetória temporal (ex.: fenologia, dinâmica de uso da terra)
- **Escala e automação**
Permite processar grandes volumes de dados sem pipelines manuais complexos
- **Limitação crítica**
Depende fortemente da qualidade e consistência temporal dos dados

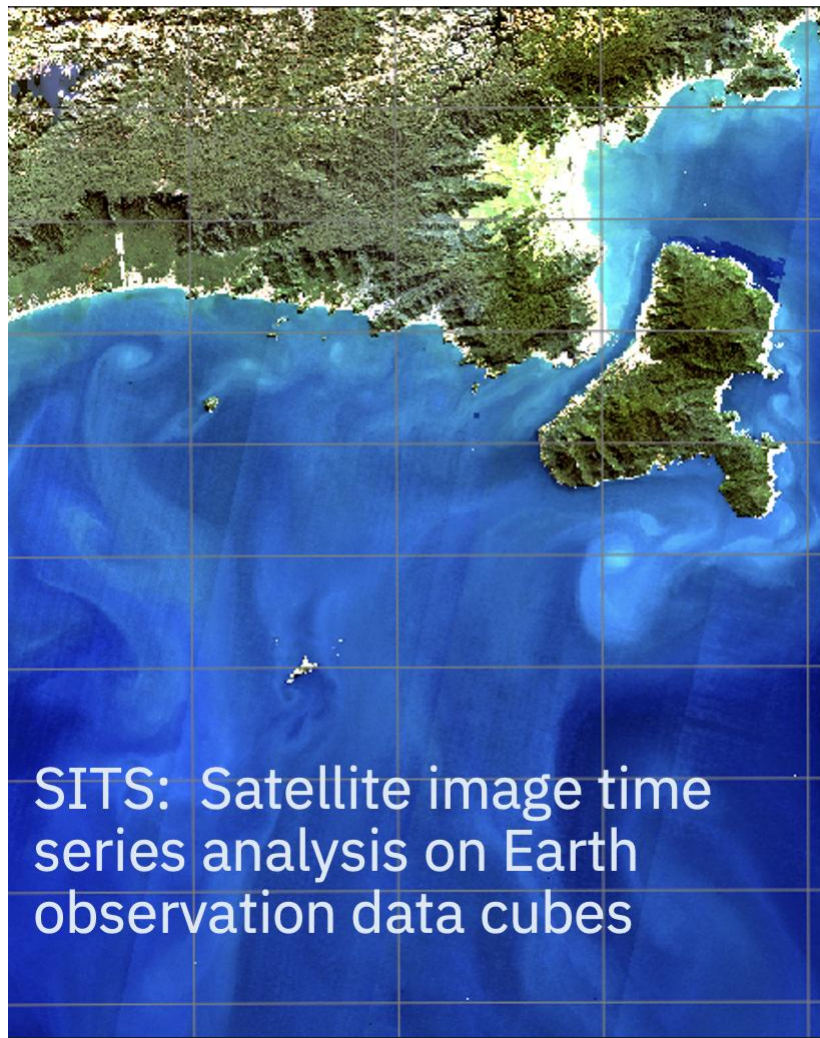


Brazil Data Cube

GeoAI além da visão computacional: Cubos de Dados



“Time-first, space-later”



<https://e-sensing.github.io/sitsbook/>

- **Integração com machine learning**

Classificação e regressão diretamente sobre séries temporais (ex.: pacote *sits* no R)

- **Menos foco em “imagem bonita”, mais em dinâmica**

O sinal temporal passa a ser mais importante que o padrão espacial instantâneo

- **Inovação silenciosa (menos hype)**

Avanço mais estrutural do que visual - pouco “vendável”, mas extremamente poderoso



SITS - Satellite Image Time Series Analysis for Earth Observation Data Cubes

R/Python package

<https://e-sensing.github.io/sits/>

- Support vector machines
- Random forests
- Extreme gradient boosting
- Multi-layer perceptrons
- 1D convolution neural networks
- Residual neural networks
- Temporal self-attention encoder
- Lightweight temporal attention encoder

GeoAI - PyTorch: a biblioteca do *deep learning*



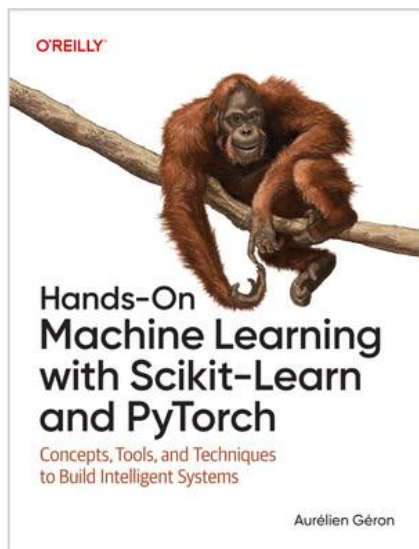
Do ponto de vista de implementação, o **PyTorch** consolidou-se como a principal biblioteca de *deep learning* na pesquisa geoespacial, substituindo o TensorFlow como padrão dominante em publicações acadêmicas a partir de 2020.



O PyTorch chegou em 2016 como projeto do Facebook (atual Meta) Research e foi inicialmente visto como uma ferramenta de pesquisa. Flexível, mas "imaturo para produção". O que aconteceu depois foi uma inversão silenciosa e quase completa.

Em 2022 passou para a governança da Linux Foundation, desvinculando-se formalmente da Meta e tornando-se um bem público neutro da comunidade de IA.

<https://www.articledge.com/post/pytorch>



Sugestão de livro:

<https://www.oreilly.com/library/view/hands-on-machine-learning/9798341607972/>

GeoAI - TorchGeo: quando o PyTorch aprende a falar geoespacial



Imagens de sensoriamento remoto frequentemente incluem bandas espectrais além do RGB e precisam ser combinadas com outras fontes geoespaciais com sistemas de coordenadas, extensões e resoluções distintos.

Nenhuma biblioteca genérica de *deep learning* sabe o que é um EPSG. Você teria que escrever um pipeline customizado do zero e cada pesquisador faz isso de um jeito diferente, tornando os resultados impossíveis de reproduzir.

Essa é exatamente a motivação por trás do TorchGeo: a variedade nos métodos de coleta de dados e no tratamento de metadados geoespaciais torna a aplicação de *deep learning* a dados de sensoriamento remoto algo não trivial.

GeoAI - TorchGeo: quando o PyTorch aprende a falar geoespacial



TorchGeo é uma biblioteca de domínio do PyTorch que fornece datasets, samplers, transformações e modelos pré-treinados específicos para dados geoespaciais.

Classificação de cenas, segmentação semântica, detecção de objetos, segmentação por instância, detecção de mudança e regressão — todas com suporte nativo a imagens multiespectrais e metadados geoespaciais, prontas para serem consumidas pelo pipeline padrão do PyTorch.

O projeto é hospedado sob a organização da Microsoft no GitHub e tem origem em trabalho acadêmico publicado no *ACM Transactions on Spatial Algorithms and Systems*, liderado por Adam J. Stewart (Universidade de Illinois). É também um projeto reconhecido pela OSGeo, o que o conecta à comunidade de software geoespacial aberto.

<https://torchgeo.readthedocs.io/en/stable/>



GeoAI dentro dos softwares de SIG





A ESRI adotou o termo GeoAI e ajudou a impulsioná-lo.

Desde 2017, a empresa passou a organizar o GeoAI Summit dentro da conferência anual ESRI UC (User Conference), consolidando o termo no vocabulário da comunidade profissional antes mesmo de ele ganhar tração acadêmica consistente.

A materialização do conceito ocorre via ferramentas como o ArcGIS Image Analyst (classificação e segmentação de imagens de satélite), os Deep Learning Packages (DLPK) - modelos pré-treinados disponíveis no ArcGIS Living Atlas - e a integração com LLMs via ArcGIS Copilot, que permite consultas em linguagem natural sobre dados geoespaciais.

Para refletir: Se a ESRI não tivesse popularizado o termo "GeoAI", a comunidade acadêmica e o mercado reconheceriam as mesmas técnicas com o mesmo peso e urgência? O que isso nos diz sobre o poder das corporações na construção do conhecimento tecnológico?

GeoAI no Ecossistema ESRI (ArcGIS)

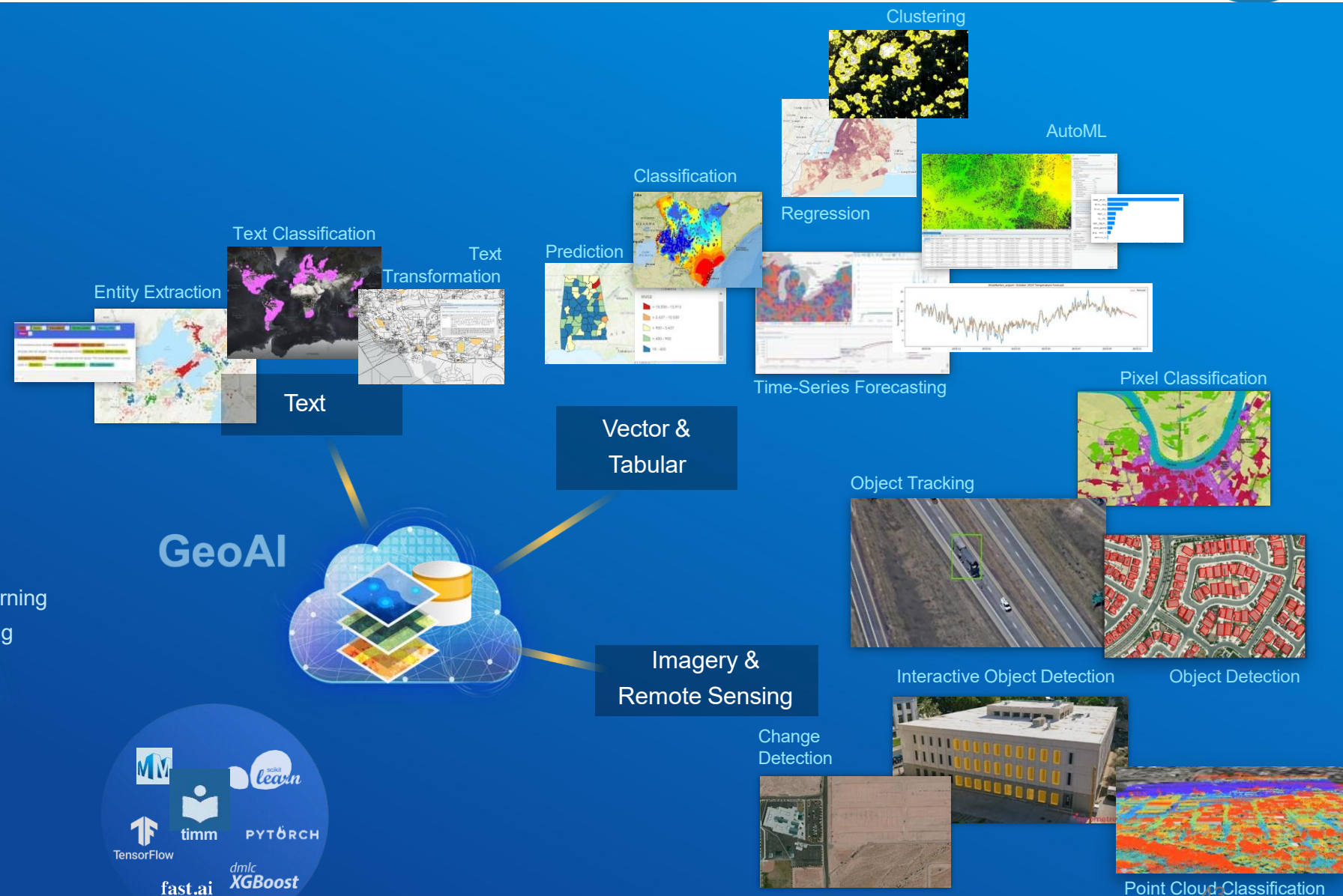


Advancing capabilities

- GeoAI toolbox
- Pretrained models
- Ethical & Explainable AI

Simplifying workflows

- Automated machine learning
- Automated deep learning
- AI Assisted Labelling



GeoAI no Ecossistema ESRI (ArcGIS)



Pretrained AI Models

Making AI approachable

Highlights

- 65 models
 - 20 new models
 - Segment Anything Model (SAM) – foundation model
 - 10 updated models



Solar Park Classification



Elephant Detection



Building Footprints (Australia)



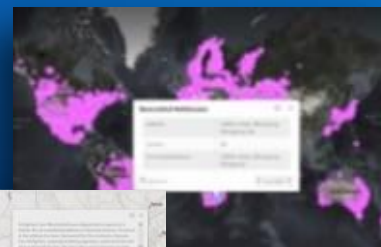
Road Extraction (Global)



Wind Turbine Detection



Cloud Mask Generation



Country Classification



Land Cover Classification



Entity Extraction



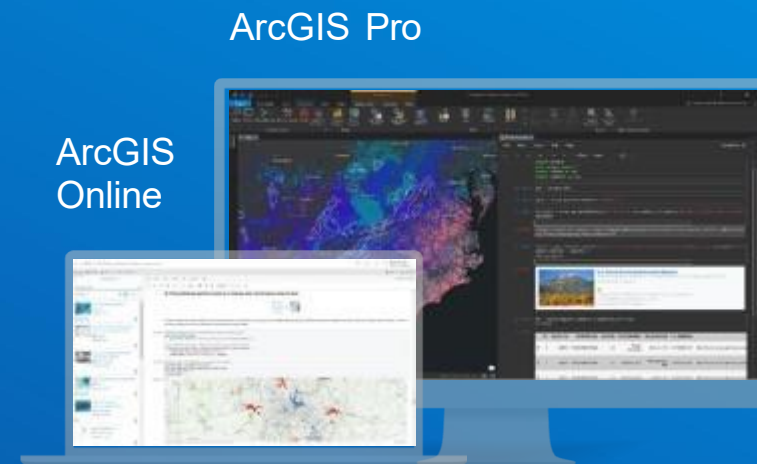
Scene Text Parsing

Where can you access these tools?

Pro
Available through extensions

Enterprise
Available through the image server role

Online
Available as an Extension

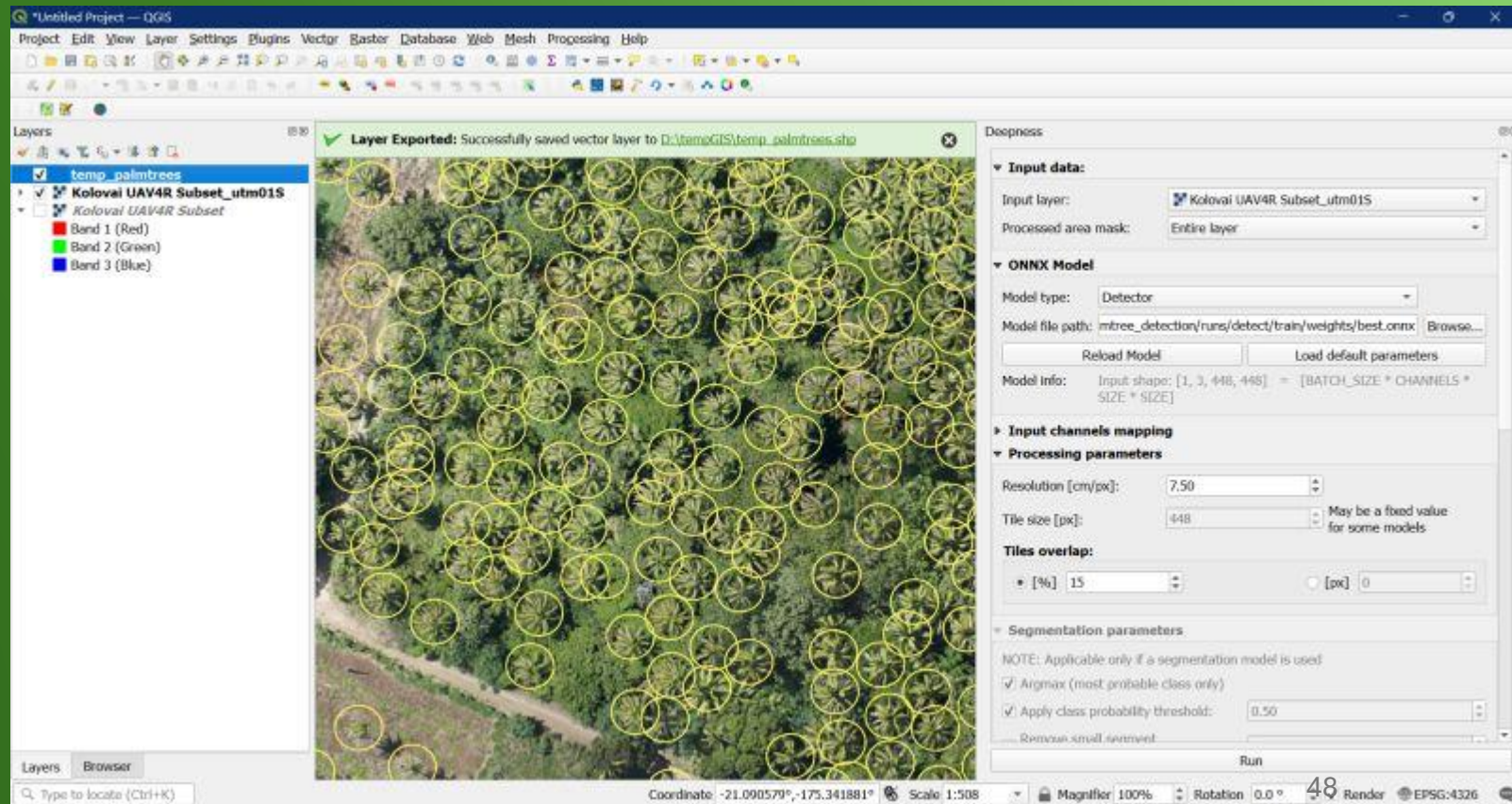
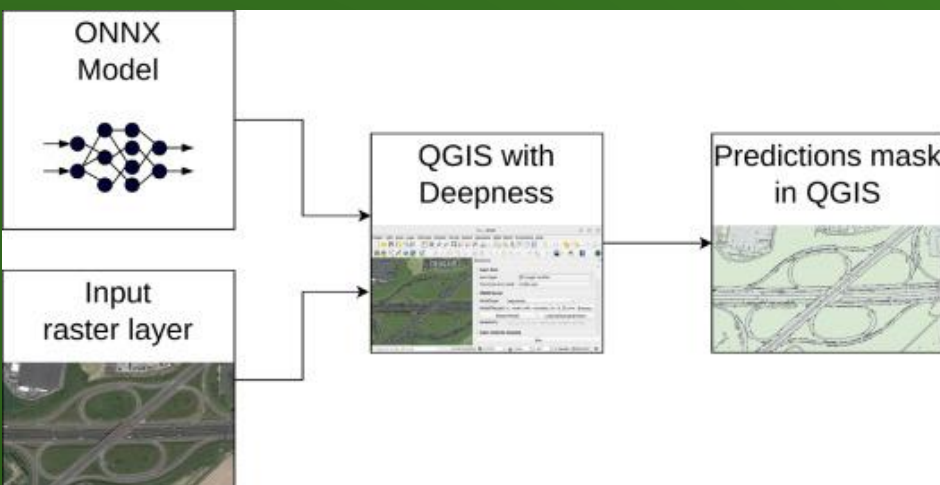


- O QGIS não tem um fabricante empurrando IA de cima para baixo
- As inovações surgem da comunidade e chegam via plugins
 - o que tem um lado positivo (transparência, acesso gratuito);
 - e um lado que exige atenção (maturidade e manutenção variável).

No QGIS, você não consome IA, você decide como ela entra no seu fluxo de trabalho.



O plugin Deepness permite realizar segmentação, detecção e regressão em dados raster com modelos pré-treinados de redes neurais ONNX, levando o poder do aprendizado profundo a usuários leigos.

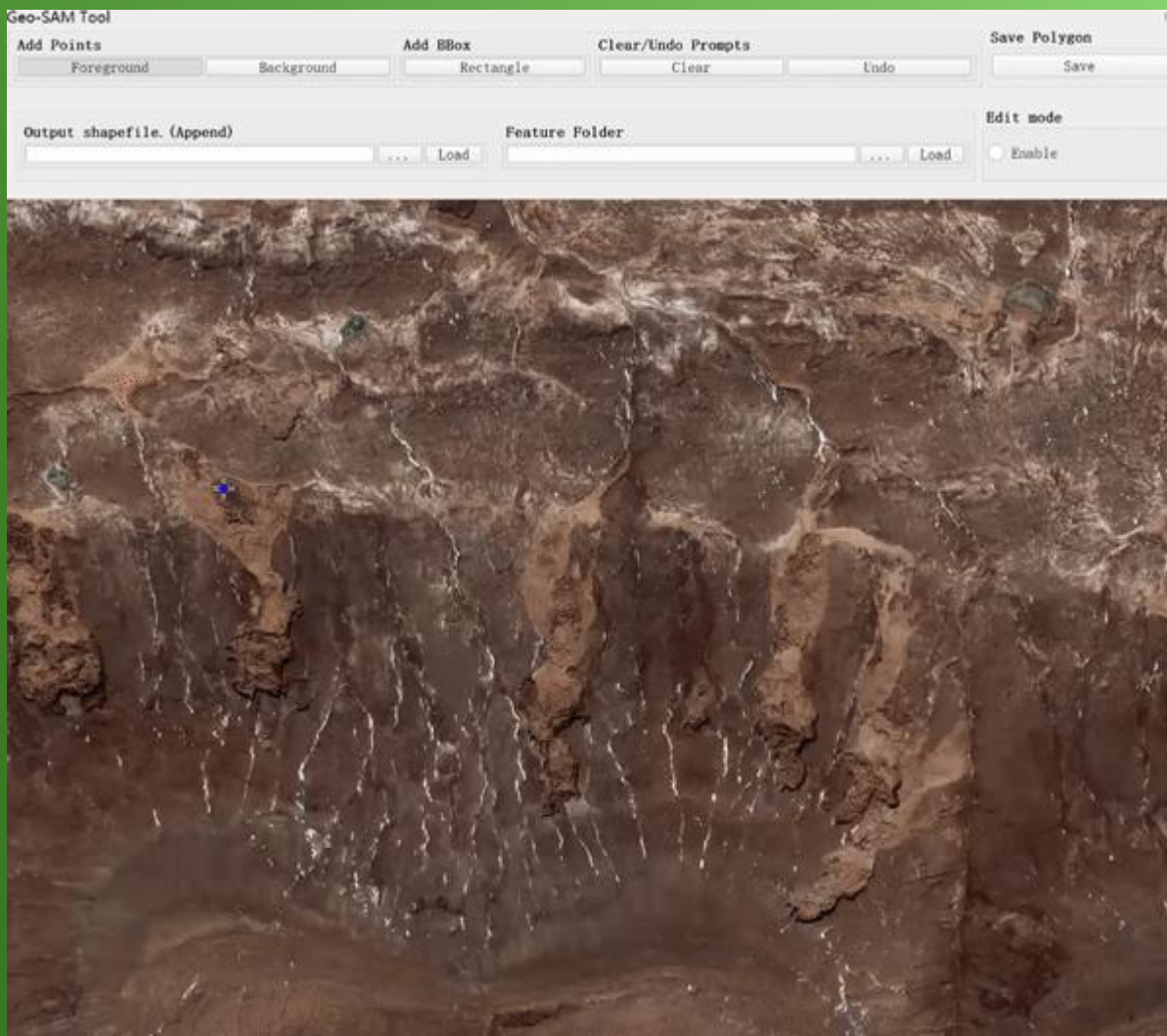


<https://doi.org/10.1016/j.softx.2023.101495>

GeoAI no QGIS



O plugin Geo-SAM (e o SAMGEO) integram o *Segment Anything Model* (Meta, 2023) ao QGIS. O SAM foi treinado com mais de 1 bilhão de máscaras e consegue segmentar qualquer objeto a partir de um simples clique ou bounding box do usuário.

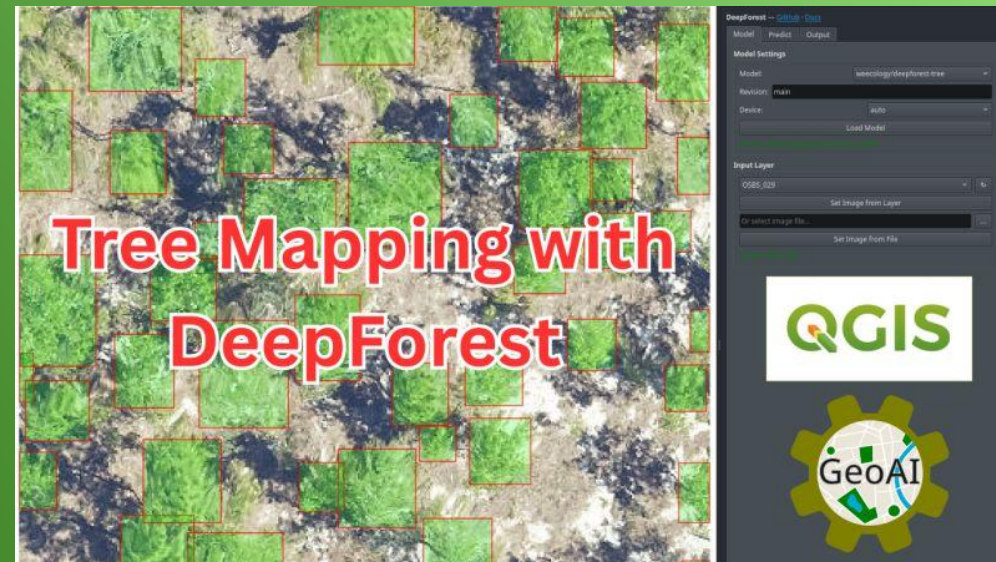


<https://geo-sam.readthedocs.io/en/latest/Usage/segmentation.html>



O plugin **GeoAI** do QGIS é uma ferramenta que integra modelos de deep learning diretamente no ambiente do software. Suas principais funções são:

- Segmentação semântica de imagens raster usando modelos de deep learning
- Detecção de objetos em imagens de sensoriamento remoto
- Integração com modelos pré-treinados no formato ONNX
- Suporte a imagens multibanda (não apenas RGB)
- Processamento tile a tile de grandes imagens raster, viabilizando uso em imagens de satélite de alta resolução
- Interface gráfica para configurar e rodar inferências sem necessidade de código



<https://www.youtube.com/watch?v=23Su8J6R4Cw&feature=youtu.be>

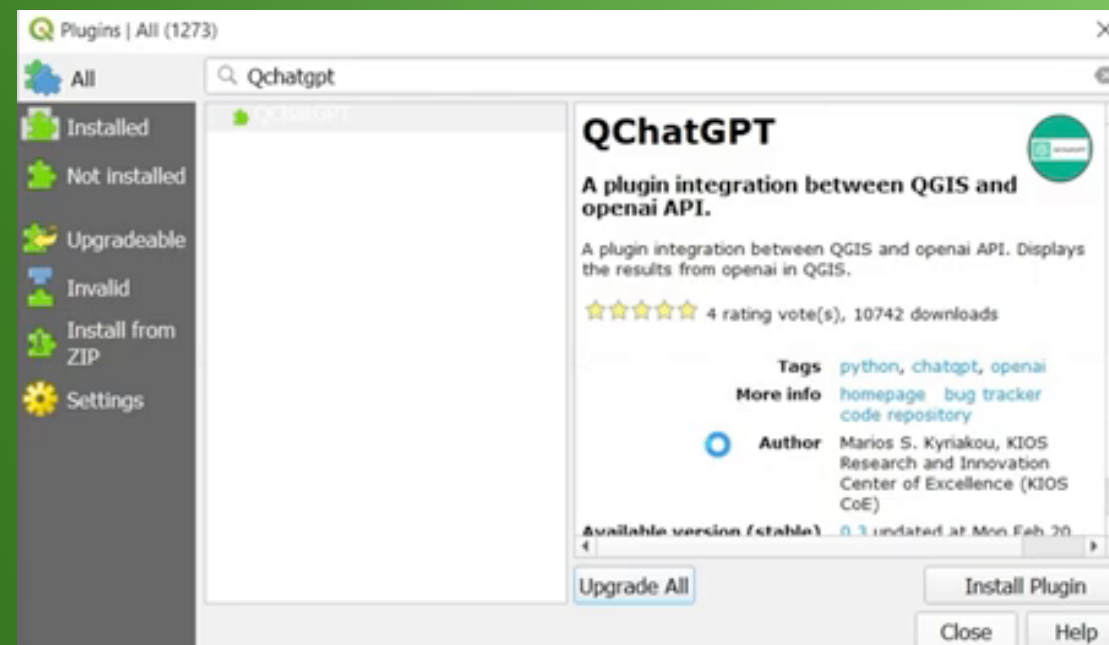


Plugin QChatGPT *QGIS + LLMs*



Integra a API da OpenAI diretamente no ambiente do SIG. Funciona como um assistente de IA, permitindo que os utilizadores façam perguntas e recebam ajuda para tarefas geoespaciais sem sair do QGIS. **Suas principais funcionalidades incluem:**

- Ajuda na Escrita de Código
- Realização de Consultas Espaciais
- Geração de GeoJSON



O plugin em si é gratuito e de código aberto, mas a sua utilização requer uma chave de API da OpenAI, cujo uso é faturado com base no consumo (número de "tokens")

Mais algumas novidades...

GeoAI – Modelos de Fundação Geoespaciais

(*Geo Foundation Models*)



Embeddings

No contexto da GeoAI, *embeddings* são representações densas e de baixa dimensionalidade, aprendidas automaticamente a partir de dados geoespaciais heterogêneos,

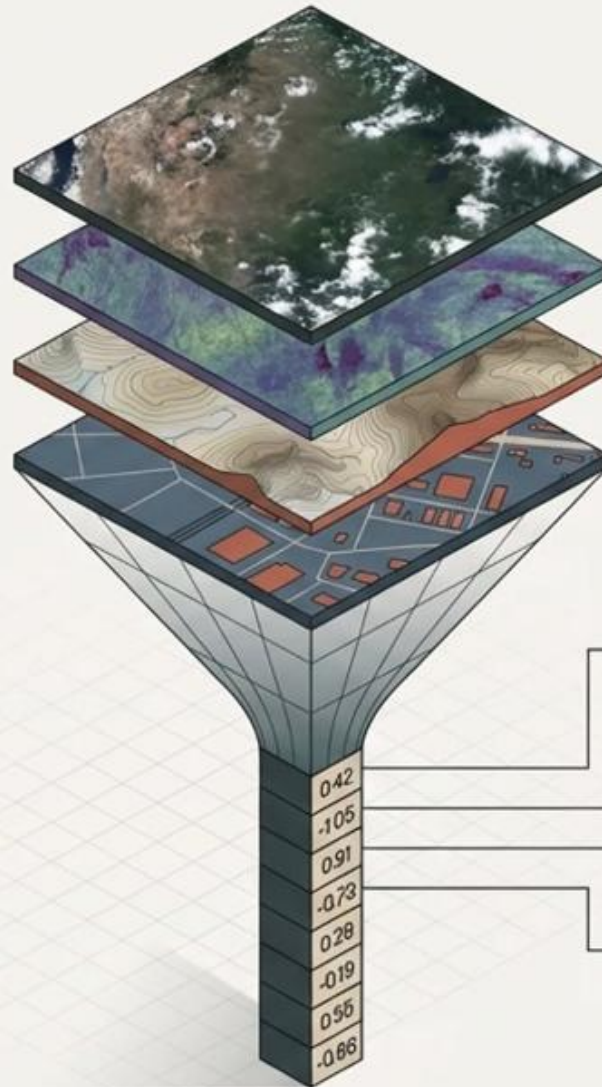
Podem incluir dados multissensor (ópticos, SAR, MDE, climáticos, etc), capazes de codificar propriedades espaciais, semânticas e contextuais de entidades geográficas em um espaço latente contínuo, de modo a preservar relações de similaridade e viabilizar tarefas de predição e descoberta de conhecimento.

GeoAI – Modelos de Fundação Geoespaciais (*Geo Foundation Models*)




Foundational models compress complex observations into a mathematical fingerprint


An embedding captures the deep semantic meaning of a specific location, mapping physical similarities to mathematical proximities.




Phenology
How vegetation changes over seasons.


Surface Moisture
Water content in the soil.

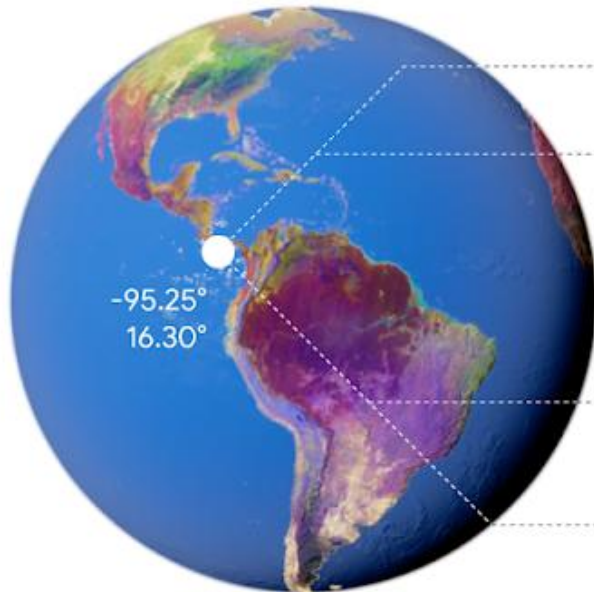

Topography
The physical relief of the landscape.


Structural Geometry
The physical shape and architecture of the surface.

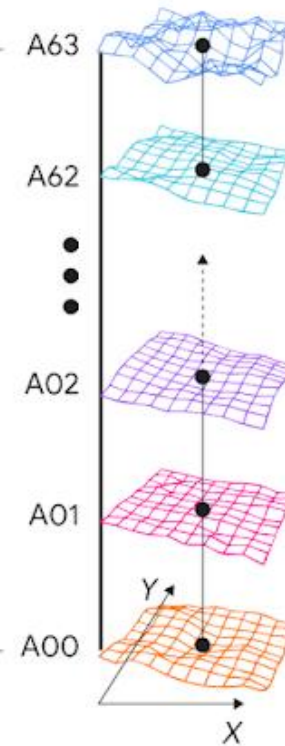
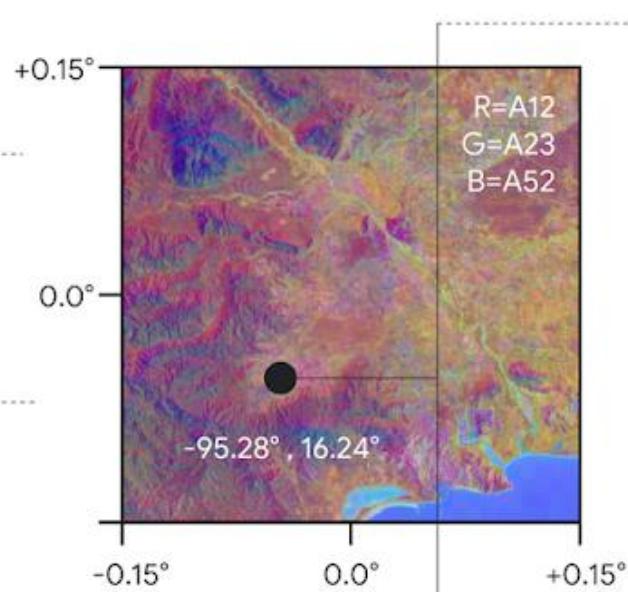
GeoAI – Modelos de Fundação Geoespaciais (Geo Foundation Models)



Global Embedding Field



Embedding Axes



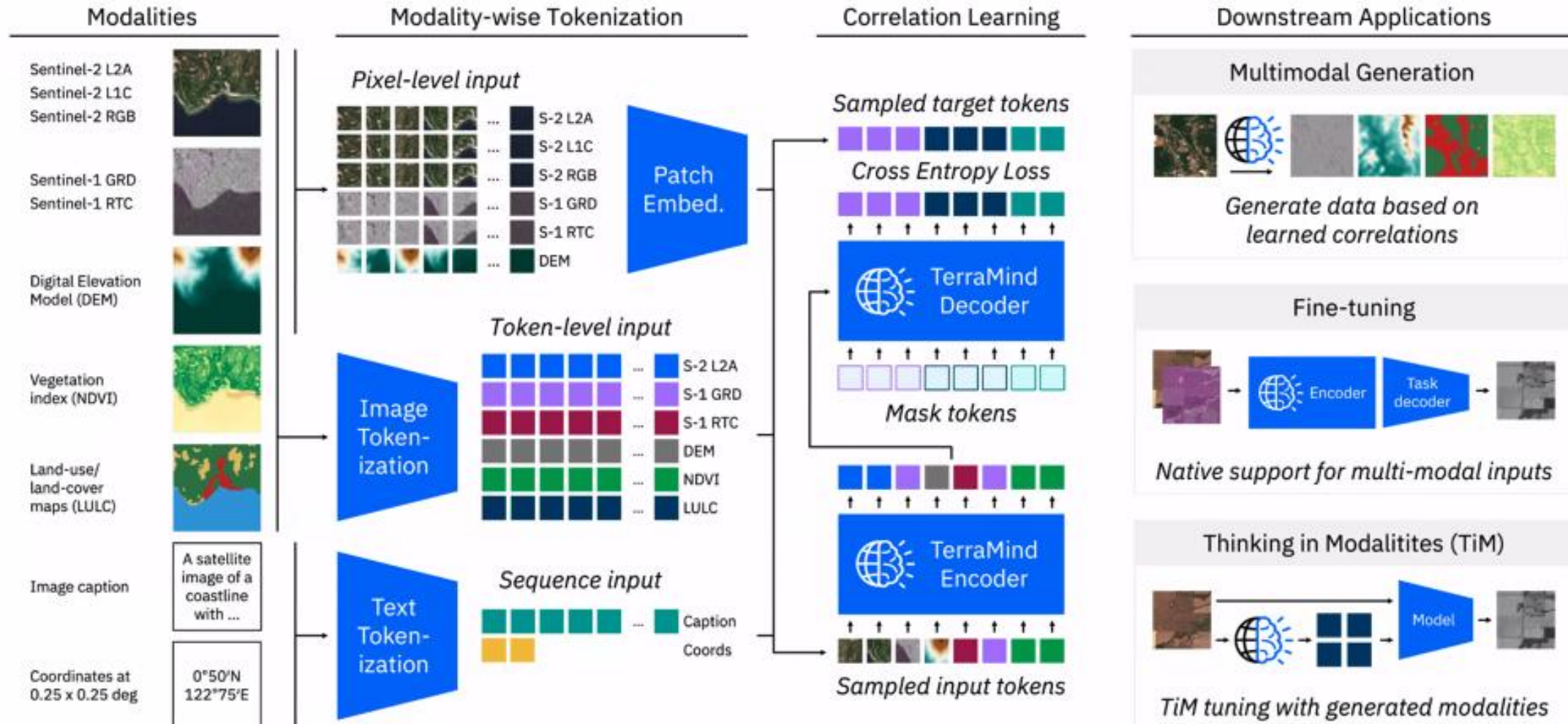
Embedding Vector



GeoAI – Modelos de Fundação Geoespaciais (Geo Foundation Models)



TerraMind



GeoAI – Modelos de Fundação Geoespaciais

(Geo Foundation Models)



Vantagens:

- **Análise pronta para uso**
- **Sem ruídos de imageamento:**
- **Fusão multissensor automática**
- **Contexto espacial e temporal embutido**
- **Melhor desempenho com menos dados de treino**
- **Comparação entre anos para detecção de mudanças:** o produto (ou cosseno) entre dois vetores de anos diferentes mede diretamente a similaridade temporal.
- **Busca por similaridade:** permite encontrar pixels com características parecidas em qualquer lugar do mundo sem precisar de modelos complexos de inferência.
- **Democratização do deep learning geoespacial:** não exige GPU nem conhecimento avançado em redes neurais para aproveitar representações de alta qualidade geradas por modelos de fundação.

GeoAI – Modelos de Fundação Geoespaciais (*Geo Foundation Models*)



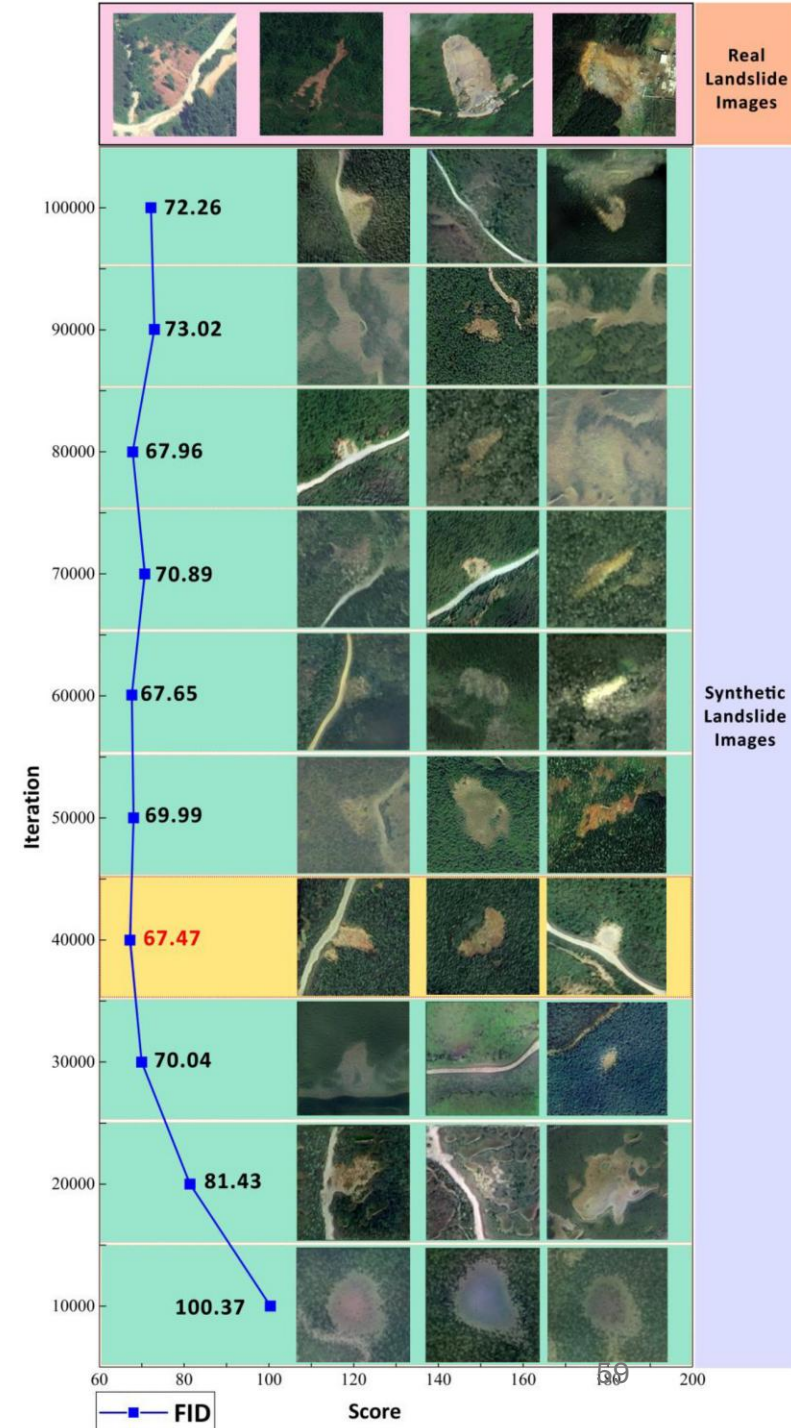
Desvantagens:

- Perda de interpretabilidade
- Risco de uso acrítico (*black-box science*)
- Dependência do modelo de origem
- Generalização limitada fora do domínio
- Atualização e reprodutibilidade
- Dependência de infraestrutura externa

GeoAI – Dados sintéticos

Um estudo publicado na revista *Landslides* introduziu o framework StyleGAN2-transformer para segmentação de deslizamentos, utilizando GANs pela primeira vez para criar imagens sintéticas de deslizamentos, justamente para enfrentar a escassez de dados que compromete o desempenho de modelos de segmentação.

O resultado: modelos treinados com o dataset aumentado por sintéticos superaram os treinados apenas com dados reais.



GeoAI – Transferência de domínio entre sensores



Uma aplicação menos óbvia.

GANs têm sido usados para “tradução” imagem-a-imagem entre sensores.

Por exemplo, converter imagens SAR em imagens ópticas (e vice-versa)

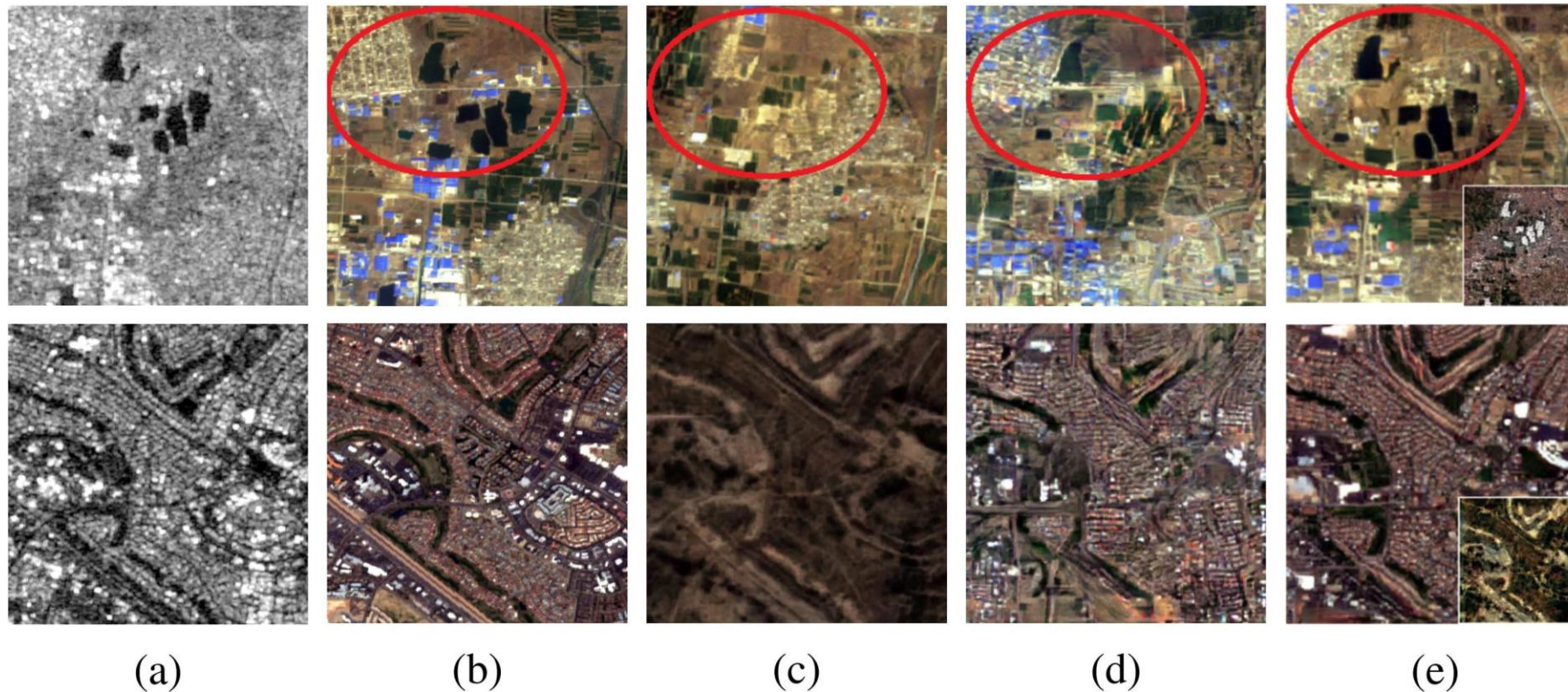


Fig. SAR to optical image translation results presented in Ji et al. (2020): (a) SAR image, (b) real optical image, (c) generated optical image by CycleGAN, (d) generated optical image by Pix2Pix, (e) generated optical image by Ji et al. (2020). <https://doi.org/10.1109/LGRS.2020.2969891>

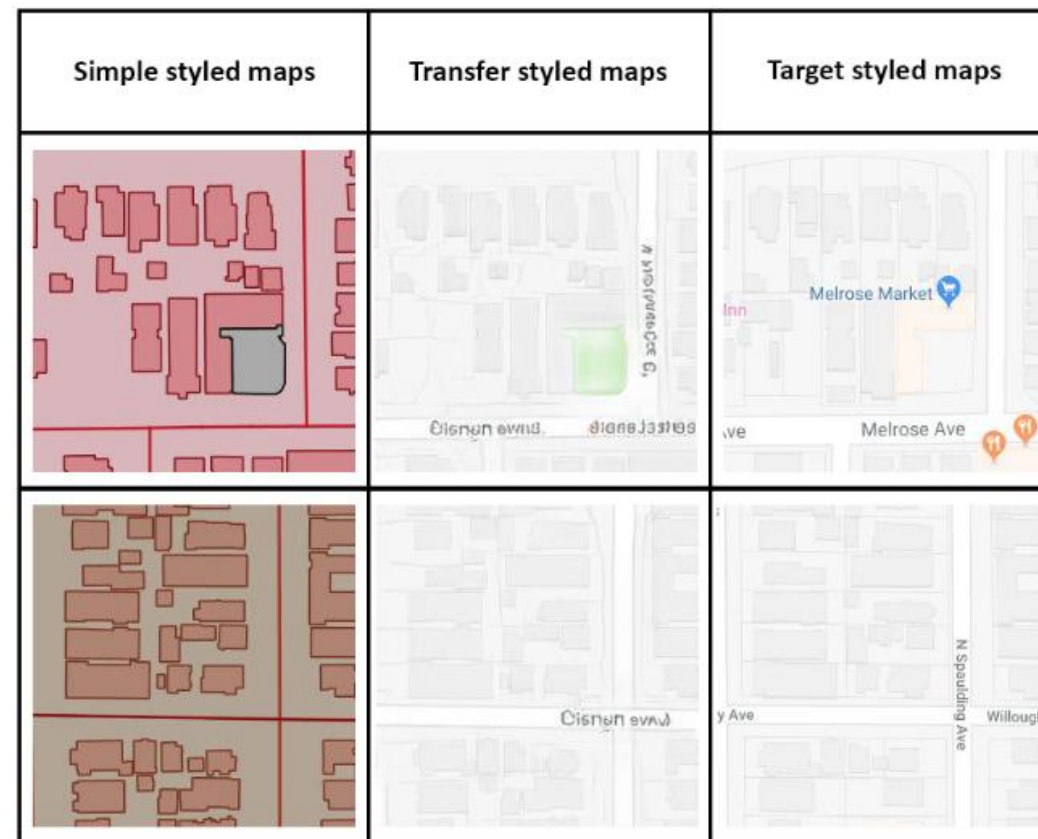
GeoAI – IA Generativa aplicada à Cartografia



Essa linha é mais recente e vem crescendo rapidamente, com dois grupos distintos de aplicações.

Transferência de estilo cartográfico (GANs)

O trabalho seminal é de **Kang, Gao e Roth (2019)**, publicado no *International Journal of Cartography*: o estudo investigou se IA pode transferir estilos cartográficos multiscale, testando os modelos Pix2Pix e CycleGAN com feições geoespaciais de Los Angeles e San Francisco, avaliando a viabilidade e acurácia do framework em duas escalas distintas.



GeoAI – IA Generativa aplicada à Cartografia



Essa linha é mais recente e vem crescendo rapidamente, com dois grupos distintos de aplicações.

Geração direta de mapas por difusão e LLMs

Cartógrafos começaram a explorar modelos de difusão para criar mapas em estilos variados a partir de prompts textuais, e a desenvolver agentes baseados em LLMs que auxiliam no processo de *mapmaking* e design cartográfico artístico, comunicando-se por trocas em linguagem natural.



GeoAI – Deep Fake Geography



O conceito de *Deep Fake Geography* foi cunhado por Zhao et al. (2021) para enfatizar o impacto da IA nos desafios de dados geoespaciais errôneos.

Os autores treinaram um CycleGAN para “traduzir” entre basemaps do CartoDB e imagens Google Earth, criando imagens RGB falsas de satélite a partir de mapas, para depois examinar métodos de detecção dessas imagens fabricadas.

Esse é um ponto de virada importante: a mesma tecnologia que gera dados sintéticos para enriquecer treinamento pode gerar desinformação geoespacial convincente. A literatura já trata isso como um problema ético no campo.



Figure . Fake satellite images of a neighborhood in Tacoma with landscape features of other cities. (a) The original CartoDB basemap tile; (b) the corresponding satellite image tile. The fake satellite image in the visual patterns of (c) Seattle and (d) Beijing.

GeoAI – LLMs acoplados a SIG e plataformas



QGIS + ChatGPT, GEE + Gemini, ArcGIS + Copilot

- O genuinamente novo aqui não é a análise, é a **democratização do acesso**: usuários sem conhecimento técnico conseguem executar fluxos complexos via linguagem natural
- Crítica: o LLM em si não "entende" espaço (ainda), ele gera código ou queries. A inovação é de **interface**, não de capacidade analítica

- **Existe um forte componente de hype e marketing**

Termos como “GeoAI” são também construções institucionais e corporativas.

- **O “novo” não está na IA em si, mas na escala e na integração**

Mais dados, mais poder computacional, menos barreiras técnicas.

- **Mas nem tudo que é chamado de GeoAI é novo**

Muitas técnicas já existiam - o nome é que mudou.

- **GeoAI de verdade**

Não basta aplicar modelos - é preciso incorporar espaço, escala e dependência.

- **Deep learning realmente mudou o jogo em dados raster**

O que antes era inviável, hoje é operacional.

- **LLMs em SIG não são inteligência espacial (ainda) - são interface**

Facilitam o uso, mas não resolvem o problema geográfico em si.

- **Embeddings e modelos de fundação democratizam... e escondem complexidade**

Menos esforço técnico, mais risco de uso acrítico.

- **O risco: virar uma ciência de caixa-preta**

Bons resultados, pouca compreensão dos processos.

- **A pergunta central não é “funciona?” — é “o que estamos perdendo ao usar?”**

Sugestão de material *hands-on*



Pesquisa



+ Criar




GeoAI Tutorials

de Open Geospatial Solutions

Playlist · 47 vídeos · 60 059 visualizações

Explore the GitHub: <https://github.com/opengeos/geoa...mais>

Reproduzir todos

1  **GeoAI Made Easy: Learn the Python Package Step-by-Step (Beginner Friendly)**

Open Geospatial Solutions · 21 mil visualizações · há 6 meses

2  **Tutorial GeoAI 1: Apresentando o pacote GeoAI Python**

Open Geospatial Solutions · 27 mil visualizações · há 1 ano

3  **Tutorial 2 do GeoAI: Baixando imagens do NAIP e criando dados de pegada para aprendizado profundo**

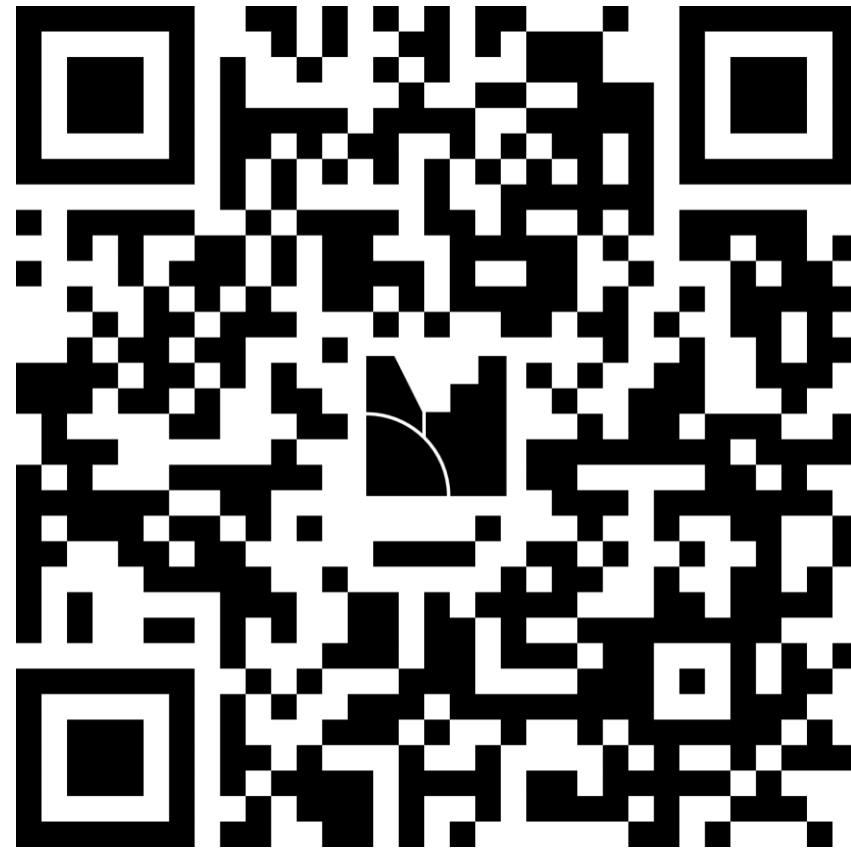
Open Geospatial Solutions · 11 mil visualizações · há 1 ano

4  **Tutorial 3 do GeoAI: Visualização de metadados e recorte de raster facilitada!**

Open Geospatial Solutions · 5,3 mil visualizações · há 1 ano

https://www.youtube.com/playlist?list=PLAxJ4-o7ZoPcvENqwaPa_QwbbkZ5sctZE

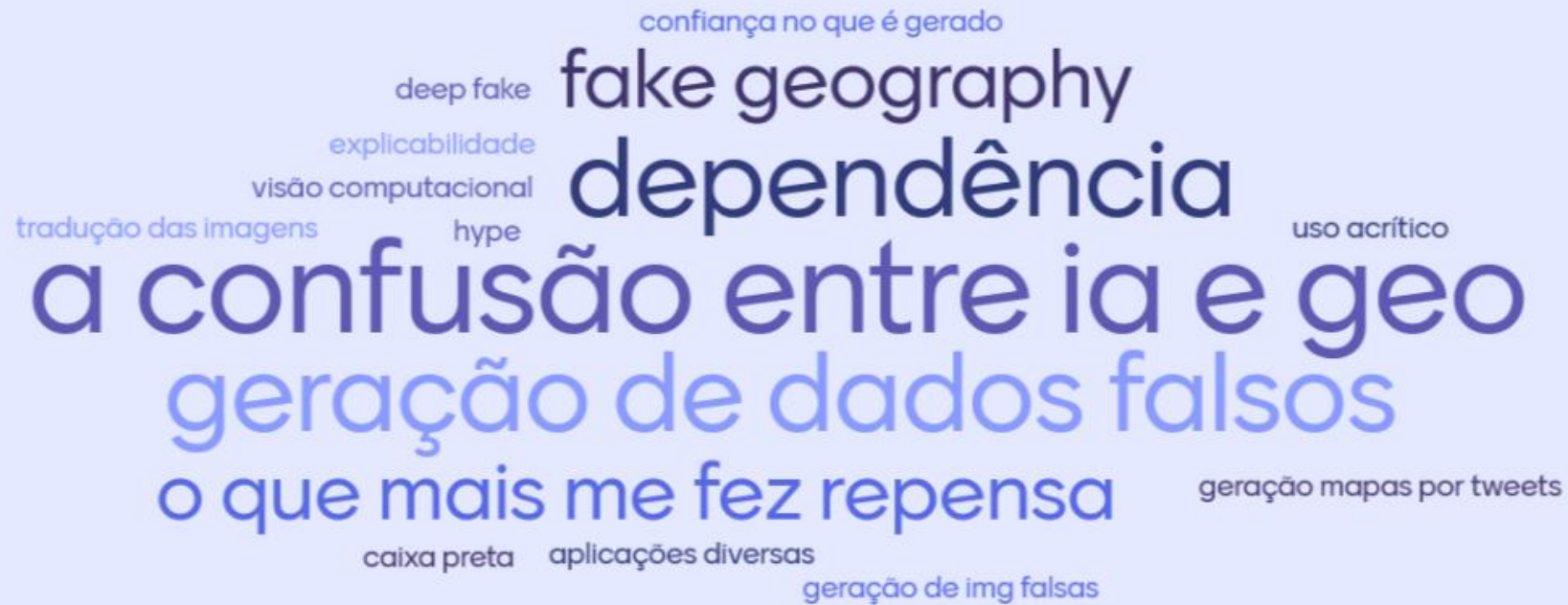
O que mais te incomodou ou te fez repensar sobre GeoAI?



Acesse o QR Code e dê sua resposta

<https://www.menti.com/alrix87vdi7m>

O que mais te incomodou ou te fez repensar sobre GeoAI?





GeoAI na Geoinformática

Édipo Henrique Cremon

edipo.cremon@inpe.br

SER-350-3 & CAP395
Introdução à Geoinformática