

## NOTA TÉCNICA

Maio de 2026 | N°04

# Tendências Futuras em Sensoriamento Remoto: o que esperar dos próximos anos

**Autor:**

Gustavo Macedo de Mello Baptista, Instituto de Geociências da Universidade de Brasília

### 1. Introdução

Normalmente quando nos deparamos com um ramo da ciência que evolui com tecnologia vigente, temos que buscar alguns exercícios de futurologia para sabermos o que vem por aí. Dentro do Sensoriamento Remoto o desafio está no vamos ter nos próximos anos e como nos adaptar a essas tecnologias emergentes e muitas vezes disruptivas.

Aliás, se formos avaliar esses dois termos temos as emergentes como algo que está surgindo com força e se estabelecendo, mas não necessariamente rompem paradigmas que forma tão significativa, pois esse é o papel das disruptivas.

Visto isso, precisamos pensar inicialmente numa linha histórica a partir dos anos 60 até esse momento que vivemos. E para tal, vamos definir quatro marcos históricos que transformaram o Sensoriamento Remoto:

- 1960 a 1972 – era pioneira;
- 1980 a 1990 – sensores multiespectrais;
- 2000 a 2010 – altas resoluções; e
- 2014 a 2024 – big data e IA.

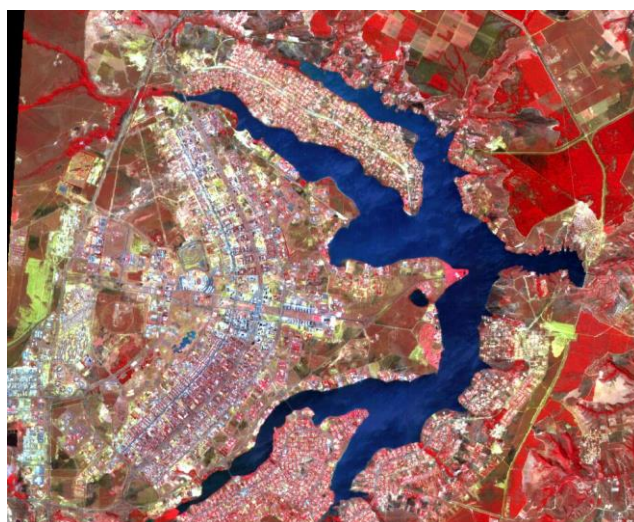
A era pioneira foi marcada pelos primeiros sistemas orbitais focados inicialmente em câmeras de televisão e voltados para os estudos meteorológicos, como o TIROS 1, ou de reconhecimento estratégico, como o projeto Corona. Além disso, em 1972 temos um marco extremamente importante que foi o lançamento do primeiro satélite civil dedicado à observação da Terra, o ERTS-A rebatizado por Landsat 1. O Landsat 1 trazia, além das câmeras de TV do sistema RBV, o MSS que foi uma tecnologia disruptiva, pois seus sensores realizavam varredura linear da Terra, perpendicular à órbita do satélite. A varredura transversal era feita por um espelho oscilante, que cobria simultaneamente

seis linhas em cada uma das quatro bandas espectrais. O deslocamento do satélite ao longo da órbita gerava a sequência das linhas de varredura.



Engenheiros trabalhando no TIROS 1.

O segundo marco foi impulsionado pelo sucesso do sistema MSS do Landsat 1 e com isso, experimentamos o desenvolvimento de sensores multiespectrais avançados como o *Thematic Mapper* do Landsat 5 e o *High-Resolution Visible* (HRV) do SPOT 1. Além disso, a introdução de sistemas SAR (*Synthetic Aperture Radar*) para imageamento independente de condições atmosféricas ampliaram esse momento de tecnologias emergentes que mudaram nossa forma de ver o mundo de cima.

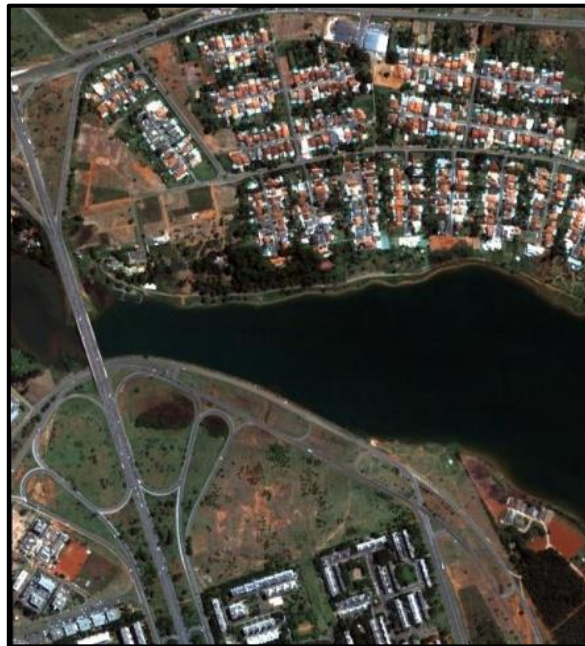


Falsa cor com dados HRV do SPOT 1 de 18 de agosto de 1988.

O momento seguinte se impõe como um marco disruptivo extremamente importante, pois nesse momento surgem os sistemas sensores que ampliaram todas as resoluções. Apesar de

infelizmente no Brasil **alta resolução** representar sistemas com **alta resolução espacial**, o termo deve ser utilizado para todas as resoluções.

Começamos com o **hiperespectrais** e o AVIRIS foi o primeiro a obter imagens do território nacional na missão SCAR-B em 1995. Esses sistemas nos desafiavam até na hora de fazermos composições coloridas, pois o que escolher em meio a centenas de bandas. No caso dos **hiperespaciais**, o lançamento do Ikonos II em 1999, com 1 metro de resolução espacial, criou um problema, pois a classificação pixel a pixel já não respondia mais, pois solo exposto e telha de barro respondiam espectralmente da mesma forma e tivemos que ir beber na visão computacional para buscarmos uma análise de contexto espacial por meio dos sistemas de classificação orientada ao objeto.

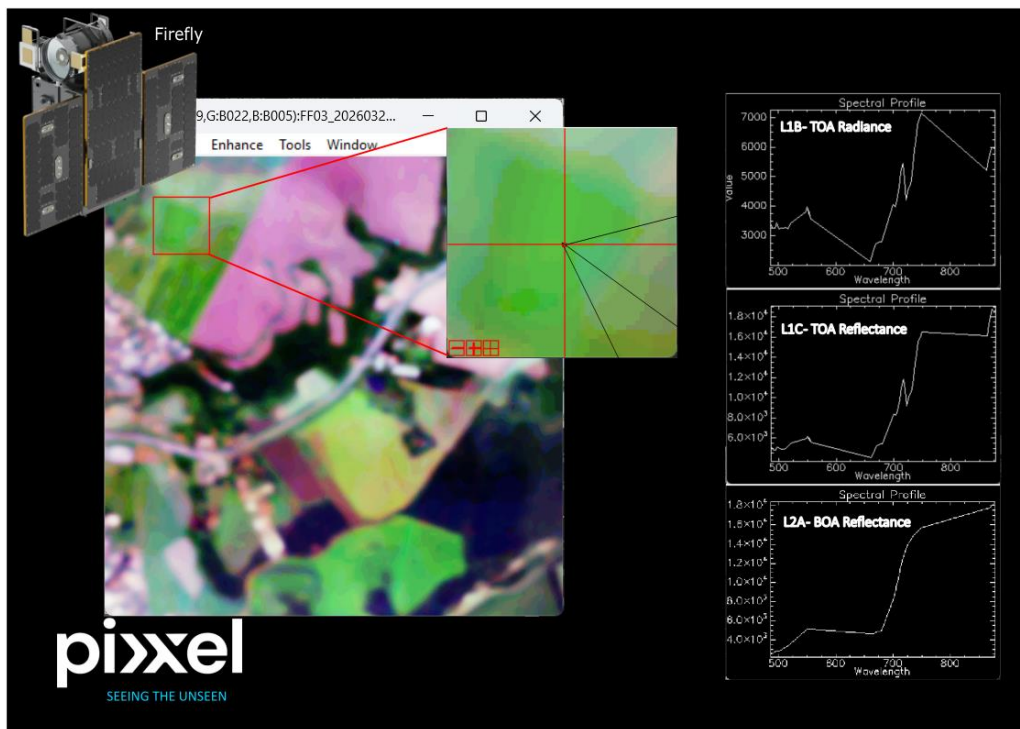


Cor real com dados Ikonos II.

E não podemos deixar de citar o MODIS que, além de um sistema **hiper-radiométrico**, com 12 bits ou 4096 níveis de cinza (lembrando que os dados eram até 8 bits e muitos softwares precisavam dos dados reamostrados para essa quantidade de 256 níveis de cinza), permitia uma cobertura completa do planeta a cada 1,1 dia, ou seja, um **hipertemporal**. Isso sem contar com a inovação dos produtos *ready to use*, produtos pré-processados que, por meio de um fator de conversão, chegavam ao produto final, seja para estudos oceânicos, atmosféricos, terrestre e criogênicos. Isso rompeu os preceitos existentes e nos levou a nos reinventar para nos ajustarmos às **hiperesoluções**.

O último marco é voltado ao *big data* e a IA. O cenário atual inclui o programa como o Copernicus, com diversos satélites Sentinel que operam com objetivos distintos, constelações de CubeSats, como as da Pixxel e da Planet Labs inaugurando o que chamamos de **Constelações NewSpace** (constelações comerciais de observação terrestre), e a integração com aprendizado profundo (*deep*

learning) e processamento em nuvem, por meio de plataformas como Google Earth Engine, Planetary Computer e AWS.



Dados hiperespectrais do Firefly da PIXSEL, com espectros em radiância e reflectância TOA e reflectância BOA

## 2. Tendências futuras

Quando pensamos no que já aconteceu, temos uma tendência de ajustar funções para prever o que virá. É assim que normalmente fazemos quando, por exemplo, trabalhamos com gerações de cenários futuros. Observamos o que aconteceu durante o tempo e depois, mantendo-se os padrões observados, buscamos prever como devem ser os próximos anos ou as próximas décadas, caso se mantenham ou se alteram os que foi verificado no passado.

Porém, quando pensamos em tecnologias, normalmente somos surpreendidos com inovações disruptivas que bagunçam as previsões futuras. No Sensoriamento Remoto não é diferente.

Eu arrisco aqui o que vejo como tendências emergentes e disruptivas no campo do Sensoriamento Remoto. Considero que podemos começar pensando nos sistemas sensores e nesse caso os hiperespectrais avançados, os SARs e os LiDARs se destacam. Podemos dizer que cada vez mais o procedimento de **Edge Computing Orbital** ou processamento inteligente a bordo dos satélites, tenderá a reduzir a latência e volume de transmissão de dados.

Cada vez mais teremos sistemas sensores com bandas mais estreitas e buscando cobrir as faixas espectrais com mais detalhamento visando discretizar mais os alvos de superfície, buscando a compreensão de suas composições de forma mais precisa. Os hiperespectrais com mais de 400 bandas cobrindo o espectro óptico refletido serão uma realidade mais presente.

Nos ativos de micro-ondas, sistemas com frequência baixas, como a do Biomass, operando na banda P, permitindo uma definição bem precisa de biomassa utilizando tomografia SAR e gerando produtos ready to use a cada 6 meses, além de serem disponibilizados de forma gratuita, ampliando a cultura de uso de dados SAR. Nos LiDARs orbitais a ampliação de footprint para faixas de imageamento irão ampliar bastante a compreensão das estruturas de superfície e ampliar também sua popularização junto aos usuários.

Além disso, a integração dos sistemas sensores e dados diversos já se pronuncia como uma mudança muito profunda, com os modelos fundacionais ou **Foundation Models** e os **Embeddings Geoespaciais**. Modelos de linguagem e visão pré-treinados em larga escala, como transformers multimodais, estão sendo adaptados para dados geoespaciais. Esses modelos aprendem representações universais de padrões terrestres que podem ser refinadas para tarefas específicas com poucos dados rotulados. Um exemplo bem interessante é o do **AlphaEarth Foundations** desenvolvido pela Google DeepMind.

O AlphaEarth Foundations é definido pelos seus autores como um modelo fundacional (**Foundation Model**) de incorporação geoespacial (**Embedding Geoespacial**) que resolve desafios essenciais na criação de mapas por meio da geração de um espaço de características universais.

Ele resolve dois grandes desafios na análise do nosso planeta. Primeiro, integra dados de dezenas de fontes públicas — imagens de satélite, radar, mapeamento 3D a laser, simulações climáticas, entre outros — para analisar superfícies terrestres e águas costeiras em quadrados de 10x10 metros, com acompanhamento preciso de mudanças ao longo do tempo.

Segundo, torna esses dados práticos: o sistema gera resumos compactos para cada quadrado que ocupam 16 vezes menos espaço do que os de outros sistemas de IA reduzindo drasticamente o custo da análise em escala global.

O resultado é a capacidade inédita de criar mapas detalhados e consistentes sob demanda — para monitorar plantações, desmatamento ou novas construções — sem depender de um único satélite. Uma nova base para dados geoespaciais.

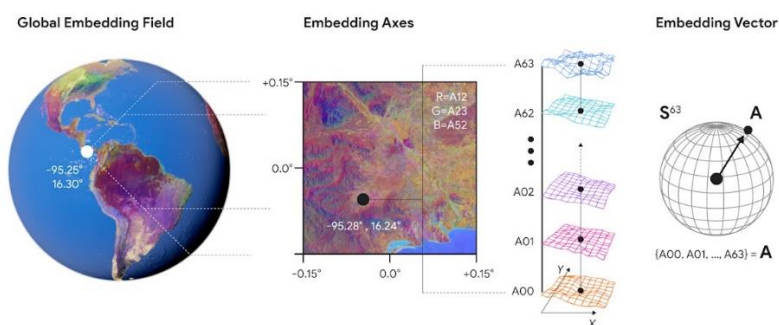


Figura 2 - Diagrama mostrando um campo de incorporação global decomposto em uma única incorporação, da esquerda para a direita. Cada incorporação possui 64 componentes que correspondem a coordenadas em uma esfera de 64 dimensões. Fonte: Google DeepMind.

A partir da integração de tantos planos de informação é possível pensar nos **Digital Twin Earth** ou os Gêmeos Digitais da Terra. Os gêmeos digitais representam réplicas virtuais dinâmicas e em tempo real do nosso planeta, integrando dados de múltiplas fontes para criar modelos preditivos e interativos de sistemas terrestres complexos.

Uma boa representação desse tipo de estratégia é o projeto **Destination Earth** ou **DestinE** da Comissão Europeia. O objetivo é criar um modelo digital detalhado da Terra capaz de simular fenômenos naturais, riscos e atividades humanas. Isso ajuda usuários a desenvolver estratégias de adaptação e medidas de mitigação mais precisas e eficazes.

O **DestinE** leva a modelagem digital do planeta a um novo patamar, com maior precisão, mais detalhes locais, acesso mais rápido à informação e maior interatividade. Atualmente eles têm gerado o comportamento de cobertura de nuvens (%), a coluna total integrada de vapor d'água ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), o fluxo de calor latente líquido ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) e a espessura de gelo oceânico (m) para o período de dezembro de 2026 a janeiro de 2027.

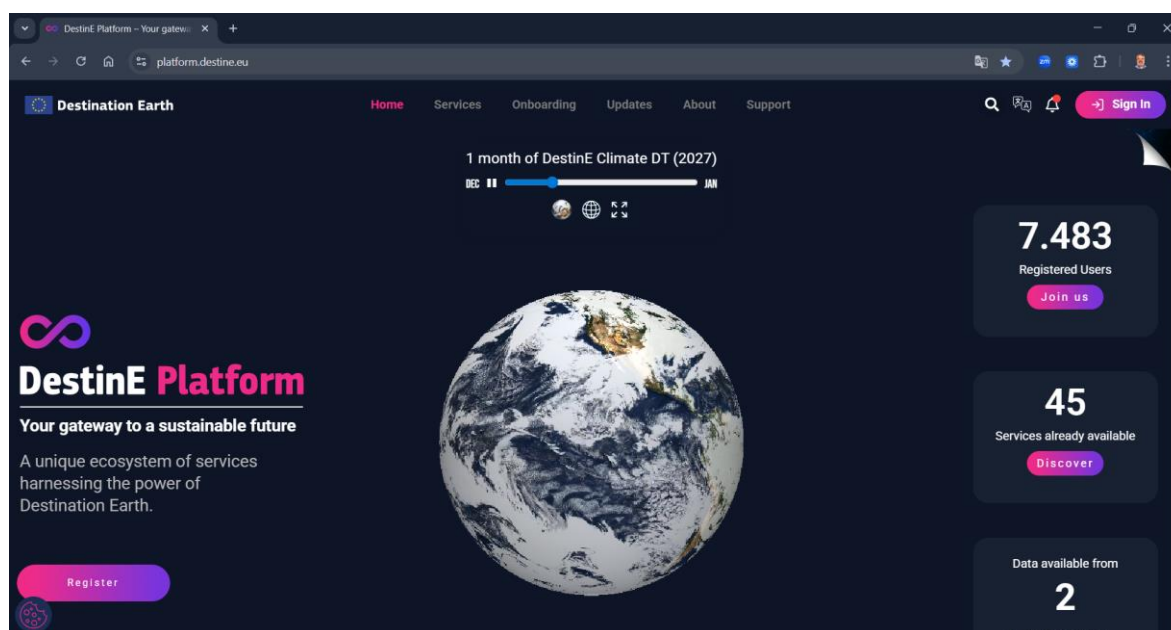


Figura 3 - Plataforma DestinE mostrando a cobertura de nuvens (%).

Como dizia George E. P. Box, estatístico britânico, "Todos os modelos estão errados, mas alguns são úteis". Isso porque os modelos são simplificações da realidade, mas nos auxiliam para termos predições e tomada de decisão. Mas, e os Gêmeos Digitais? Para que esse tipo de modelagem seja o mais próximo da realidade com todas suas complexidades, o Sensoriamento Remoto tem mais uma tecnologia disruptiva que está vindo com muita intensidade para resolver esse tipo de questão: a **Computação Quântica**.

A computação quântica promete transformar as geotecnologias em geral, através de algoritmos que exploram superposição e emaranhamento quântico. Esses sistemas podem processar otimizações espaciais complexas e simulações em larga escala de forma exponencialmente mais rápida que computadores clássicos. Isso porque ao invés de uma informação binária, o qubit pode ser 0 e 1 ao mesmo tempo.

Convém ressaltar que o arsenal quântico para modelagem da Terra se baseia em solucionadores de álgebra linear quântica, machine learning quântico e tunelamento quântico. Mas isso é conversa para outra nota técnica.

### **3. Considerações Finais**

Tentar prever o que teremos nos próximos anos não é um exercício leviano de futurologia, mas precisamos estar atentos aos movimentos tecnológicos e acompanhar as tendências para nos ajustarmos aos desafios que surgem.

Cada vez mais o Sensoriamento Remoto se ajusta às novas tendências e espero que esse ensaio seja um incentivo para você se adaptar de forma eficiente ao que vem (ou já chegou) por aí.

Afinal, Sensoriamento Remoto é um mundo fascinante! Um grande abraço!