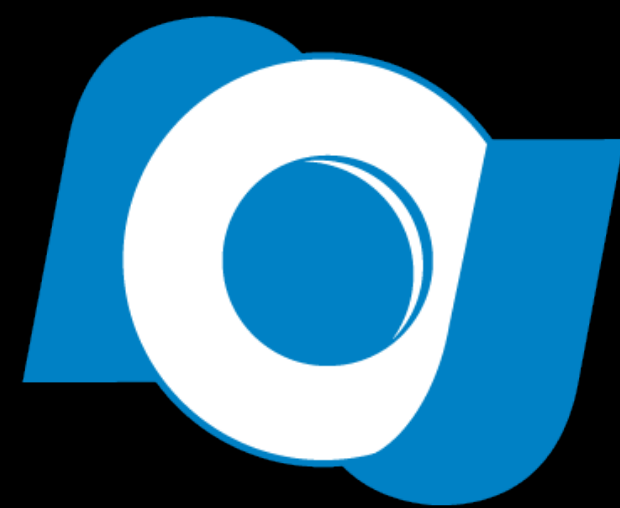




Observatório  
Nacional

MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÃO



78ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência

# Astronomia e Soberania: O Domínio do Espaço Como Motor do Desenvolvimento Nacional

Rogério Monteiro-Oliveira, Ph.D. (孟羅傑)

Pesquisador Adjunto

rmo@on.br | monteiro-oliveira.com

## Explorando o Cosmos: Grandes Projetos da Astronomia Contemporânea

*Big Science*, a revolução do *Big Data* / IA e as aplicações no dia a dia que transformam a sociedade civil



# Hoje

- A Era da *Big Science* e do Observador Coletivo
- A Revolução dos Mapeamentos: De SDSS ao LSST
- Big Data, Hardware e Desafios Computacionais
- O Estado da Arte da Instrumentação
- O Retorno Social

# Recapitulando

- O espaço deixou de ser um campo de batalha isolado entre superpotências.
- 3No século XXI, a complexidade e os custos dos instrumentos exigem consórcios internacionais.
- A transição da competição fechada para a grande cooperação multilateral.

# A Era da *Big Science* e do Observador Coletivo



# O Fim do Astrônomo Solitário



- Fim do paradigma do pesquisador isolado olhado pelo ocular no topo da montanha.
- Hoje a astronomia é feita por colaborações com centenas de engenheiros, estatísticos, programadores e físicos.



# O que é *Big Science*?



<https://tellus1.com/project/thegiantmagellantelescope/>

- Projetos de **longa duração** com orçamentos na casa dos **bilhões de dólares**.
- Exigência de **políticas de Estado** (continuidade), não apenas projetos de governo passageiros.
- Fronteira da engenharia: **a necessidade de inventar a ferramenta antes de fazer a descoberta**.



# Mudança de Paradigma: O Telescópio como Gerador de Dados



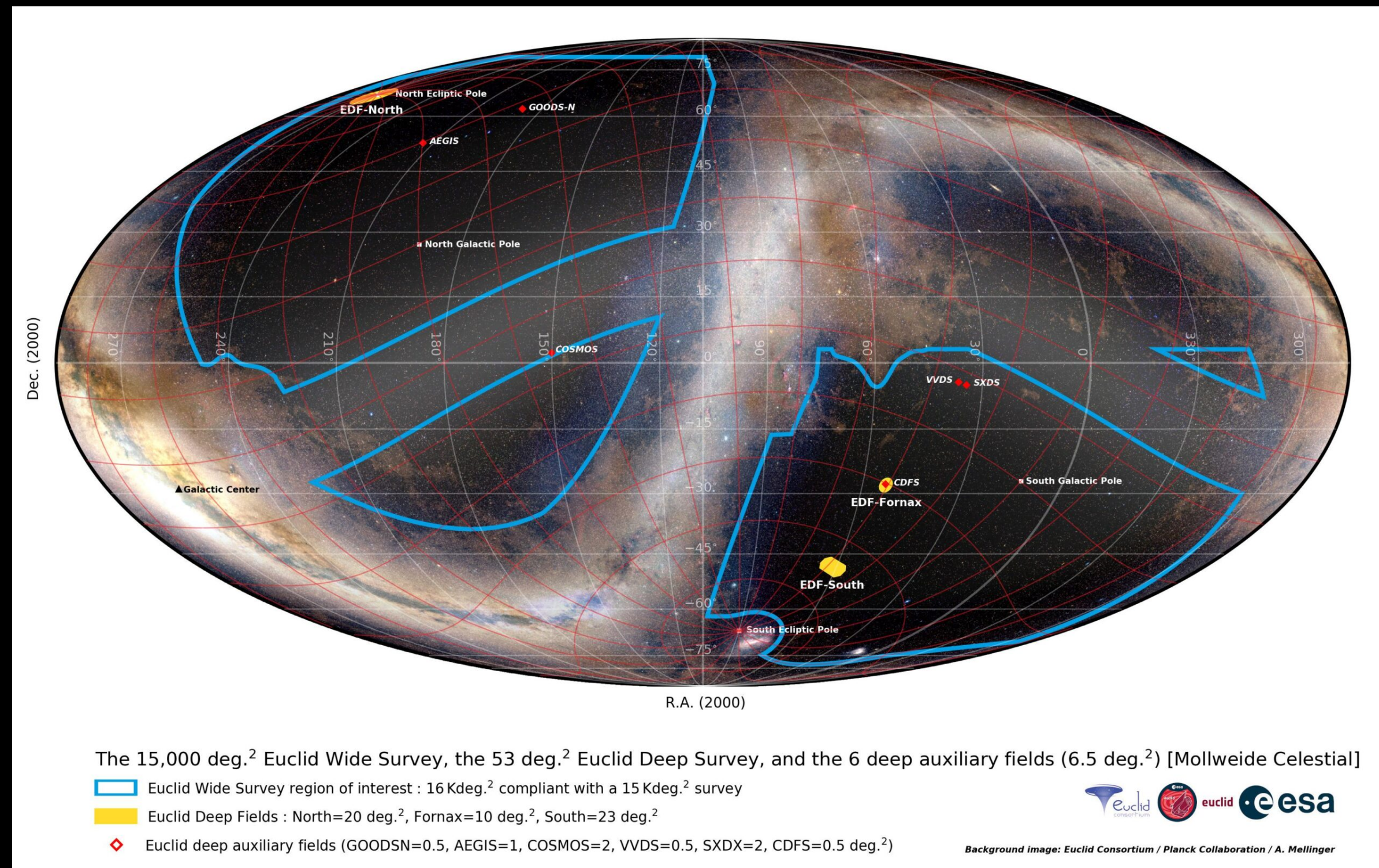
<https://noirlab.edu/public/products/logos/logo064/>

- O **telescópio moderno** deixou de ser apenas um instrumento óptico para se tornar um **sensor digital de alta complexidade**.
- A **astronomia** passa a ser uma **ciência orientada por dados** (*data-driven science*).

# A Revolução dos Mapeamentos: Do SDSS ao LSST



# O Conceito de Levantamento Astronômico (*Survey*)



- **Observação clássica:** Apontar para um único objeto específico por horas.
- **Levantamento (*survey*):** Varrer grandes áreas do céu sistematicamente para criar catálogos de bilhões de objetos.
- A **transição** da astronomia pontual para a astronomia estatística.

[https://www.euclid-ec.org/wp-content/uploads/EuclidWideRegionOfInterest.45.MollweideTrueSkyEWS.MOL\\_.Logos\\_-scaled.jpg](https://www.euclid-ec.org/wp-content/uploads/EuclidWideRegionOfInterest.45.MollweideTrueSkyEWS.MOL_.Logos_-scaled.jpg)

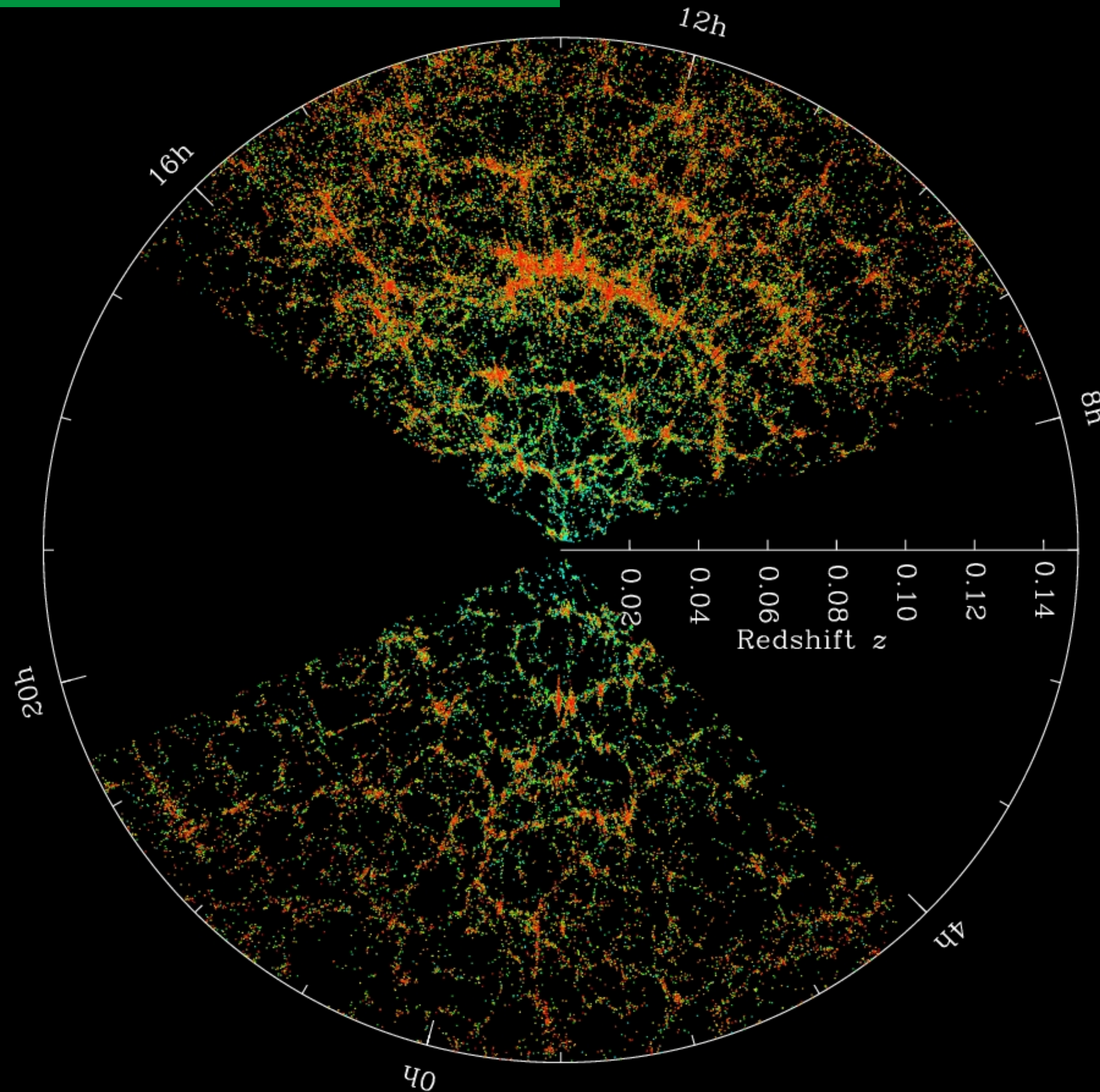


# SDSS: O Mapeamento que Mudou a Astronomia

- Sloan Digital Sky Survey (SDSS): Google Maps do Universo iniciado nos anos 1990/2000.
- Mapeou milhões de galáxias e quasares em 3D (posição e velocidade radial) usando fotometria e espectroscopia.
- Revolucionou ao adotar a política de dados abertos para a comunidade mundial.
- A Fundação Alfred P. Sloan foi a catalisadora financeira e a principal patrocinadora privada do projeto: \$ 80 milhões (em valores nominais) no projeto ao longo de mais de 25 anos de parceria.

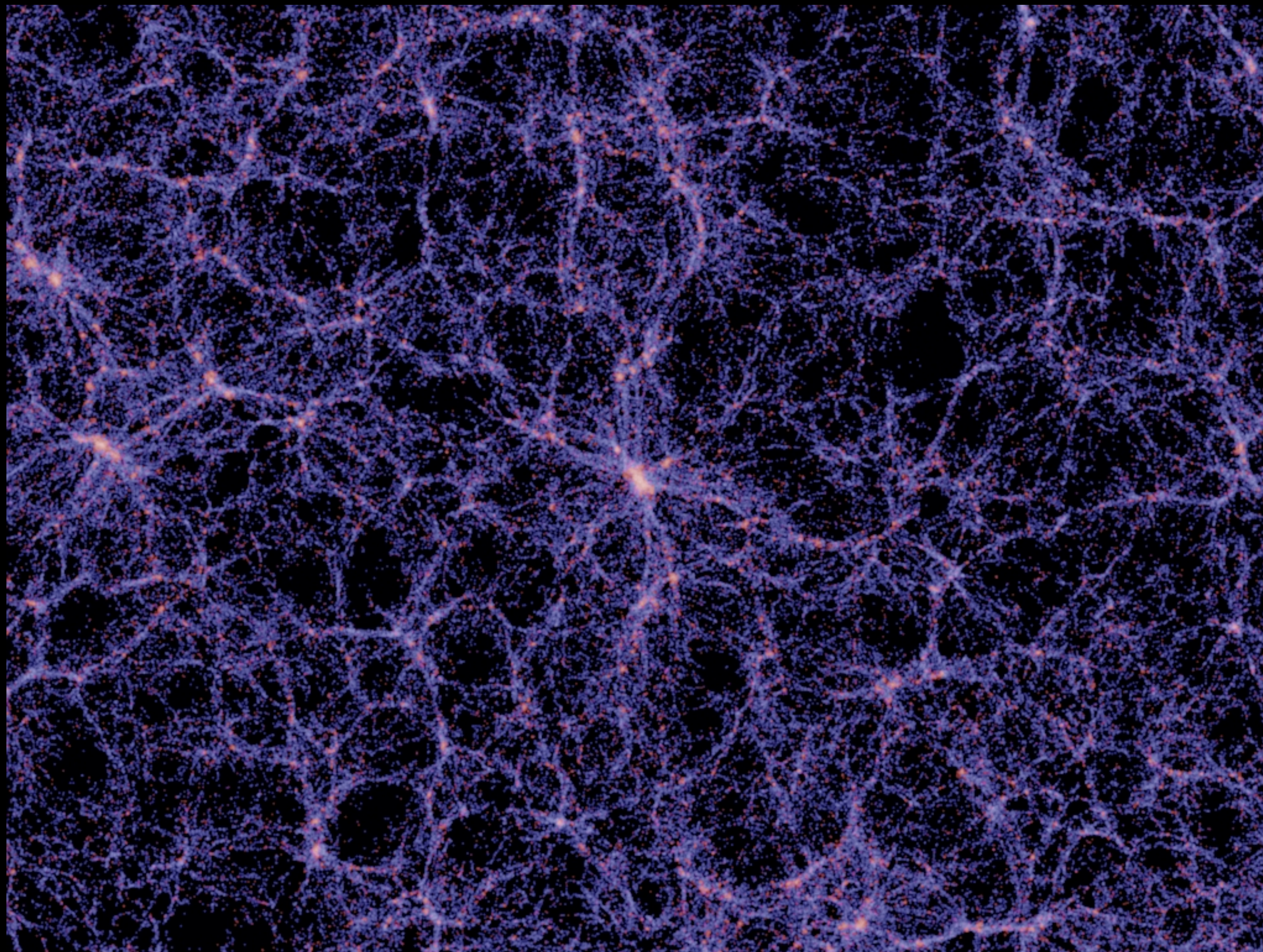


mapa 3D de  
distribuição de  
galáxias obtido  
pelo SDSS em  
formato de teia  
cósmica





mapa 3D de  
distribuição de  
galáxias segundo  
a Millennium  
Simulation



[https://www.mpa.mpg.de/galform/virgo/millennium/galseq\\_D\\_063.jpg](https://www.mpa.mpg.de/galform/virgo/millennium/galseq_D_063.jpg)



# A Evolução dos Mapeamentos (Pan-STARRS, DES e Gaia)

- **Pan-STARRS & DES** (Dark Energy Survey): Ampliação da área, resolução e profundidade do céu (com forte participação brasileira no DES).
- **Satélite Gaia (ESA)**: Mapeamento astrométrico em 3D de mais de 1 bilhão de estrelas da Via Láctea.
- O acúmulo de **terabytes ( $10^{12}$ )** preparando o terreno para a escala do **petabyte ( $10^{15}$ )**.



# Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System)

- Monitoramento rápido e detecção de objetos em movimento ou com variação de brilho.
- Telescópios: PS1 e PS2 (**espelhos primários de 1,8 metro**) no Observatório de Haleakalā, Havaí.
- Características: Câmera GPC1 com campo de visão grande (3 graus de diâmetro). Otimizado para varredura rápida e contínua do céu noturno.
- Foi um dos pioneiros no mapeamento repetitivo do céu em alta resolução, funcionando como o **guarda-costas da Terra** ao catalogar asteroides próximos (NEOs) e **registrar eventos transitórios**, como supernovas.



# DES (Dark Energy Survey)

- **Função principal:** Cosmologia profunda e investigação sobre a natureza da energia escura e a aceleração da expansão do Universo.
- **Mapeou 5.000 graus quadrados do céu do Hemisfério Sul** (cerca de 1/8 do céu total) com profundidade e precisão inéditas, catalogando centenas de milhões de galáxias. Usou a **câmera DECam (4 m) instalada no telescópio Blanco**, no Chile.
- O **Brasil integrou o consórcio** via DES-Brain / LIneA (*Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia*). Pesquisadores e engenheiros brasileiros foram cruciais no desenvolvimento do *pipeline* de processamento e gerenciamento dos dados, garantindo protagonismo científico ao país e acesso direto a esse acervo de ponta.



# A Escala do Crescimento: Do Terabyte ao Petabyte

| Projeto / Survey                         | Período Principal   | Volume Total de Dados                                | Taxa Diária Média        |
|------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------|--------------------------|
| <b>SDSS-I / II</b>                       | 1998 – 2008         | <b>~15 a 30 TB</b>                                   | ~0,01 TB / noite (10 GB) |
| <b>DES</b> ( <i>Dark Energy Survey</i> ) | 2013 – 2019         | <b>~400 TB</b> (brutos) / <b>~1,5 PB</b> (catálogos) | ~0,1 TB / noite (100 GB) |
| <b>Satélite Gaia</b> (ESA)               | 2013 – Presente     | <b>~1 a 2 PB</b>                                     | ~0,04 TB / noite (40 GB) |
| <b>Pan-STARRS</b>                        | 2010 – Presente     | <b>~1,6 PB</b>                                       | ~0,8 TB / noite          |
| <b>LSST</b> ( <i>Vera C. Rubin</i> )     | 10 anos de operação | <b>~150 a 500 PB</b>                                 | <b>20 TB / noite</b>     |



# O Próximo Salto: LSST



[https://www.ufsm.br/app/uploads/2023/02/20210415\\_182607.jpg](https://www.ufsm.br/app/uploads/2023/02/20210415_182607.jpg)

- Conduzido no Observatório **Vera C. Rubin**.
- **Legacy Survey of Space and Time (LSST)**: O projeto de mapeamento mais ambicioso da história da astronomia terrestre.
- Localizado no Chile (Cerro Pachón, Atacama), projetado para realizar um **levantamento do céu do Hemisfério Sul durante 10 anos**.



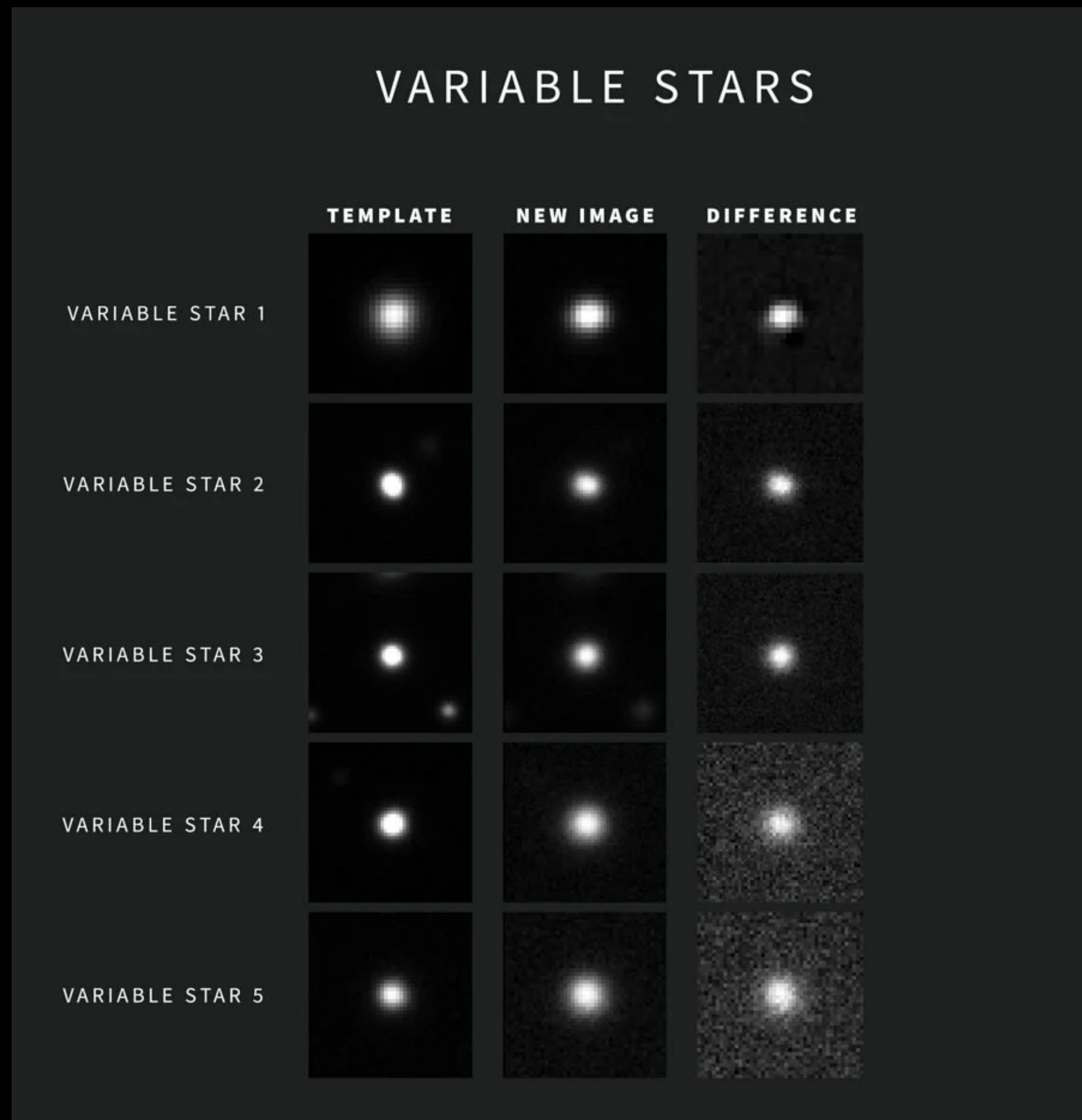
# A Maior Câmera Digital do Mundo



- Câmera de 3,2 Gigapixels (tamanho aproximado de um carro pequeno, pesando 3 toneladas).
- Tão sensível que poderia detectar uma bola de golfe a 25 km de distância.
- Capacidade de capturar uma área equivalente a 40 luas cheias em um único disparo.



# O Filme do Universo em Tempo Real



- Enquanto mapeamentos antigos tiravam retratos estáticos, o **LSST** filmará o céu dinâmico.
- **Re-visita** a mesma região do céu **a cada poucas noites**.
- Permite **descobrir** objetos em **movimento** (asteroides), **variáveis** e eventos **explosivos** (supernovas).

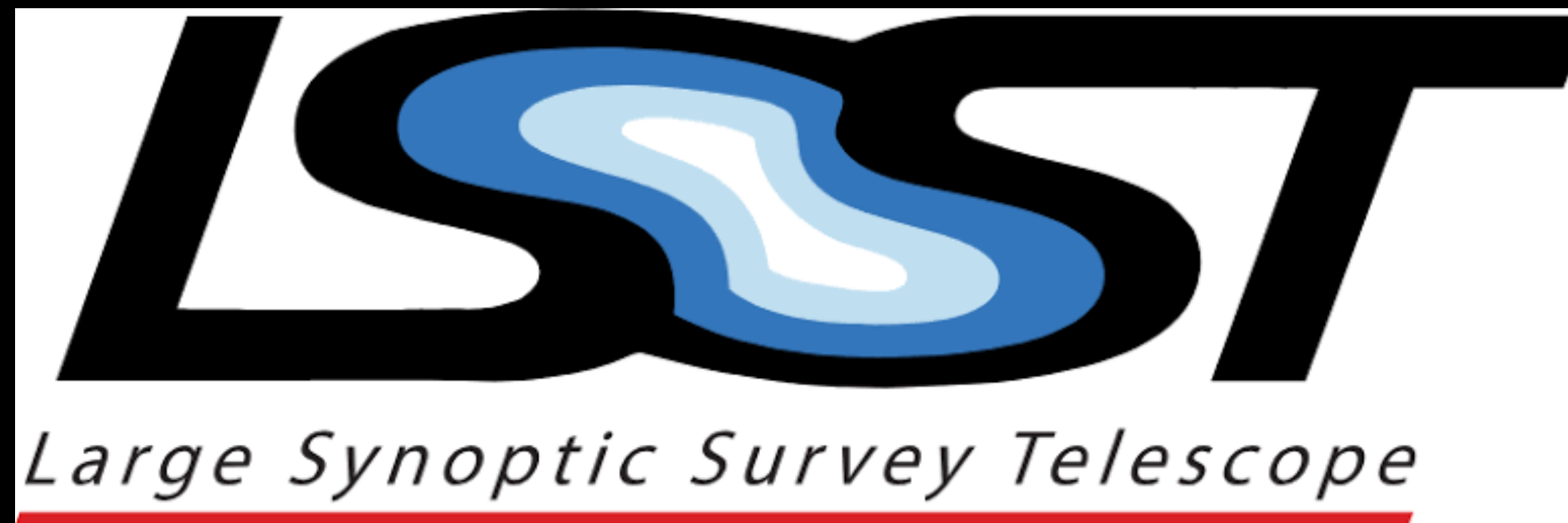


# *Big Data*, Hardware e Desafios Computacionais



# LSST em (alguns) números

- 20 Terabytes de dados brutos gerados por noite.
- Mais de 15 Petabytes de catálogo de dados ao longo de 10 anos de operação.
- 37 bilhões de galáxias e estrelas catalogadas.



<https://lse-163.lsst.io/>



# O Gargalo de Hardware e Infraestrutura



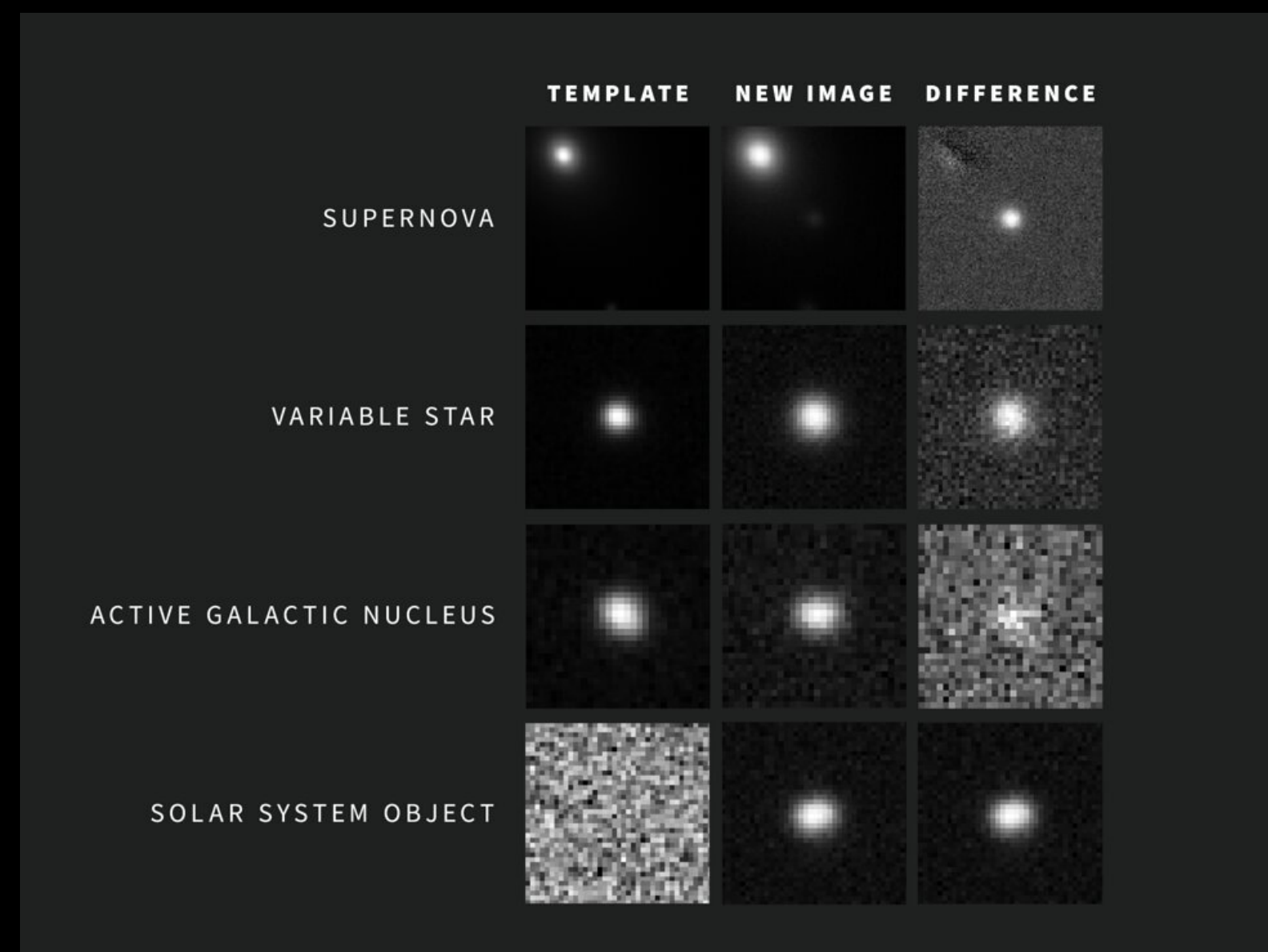
- Como **mover 20 TB** por noite do topo de uma montanha no Chile para centros de processamento nos **EUA e Europa** em segundos?
- Necessidade de **redes de fibra óptica dedicadas** de altíssima velocidade (*backbones* transcontinentais).
- **Infraestrutura** de armazenamento distribuído e servidores de alto desempenho (HPC).

<http://www.glif.is/>

<https://www.amlight.net/?p=3513>



# O Desafio dos Alertas em Tempo Real

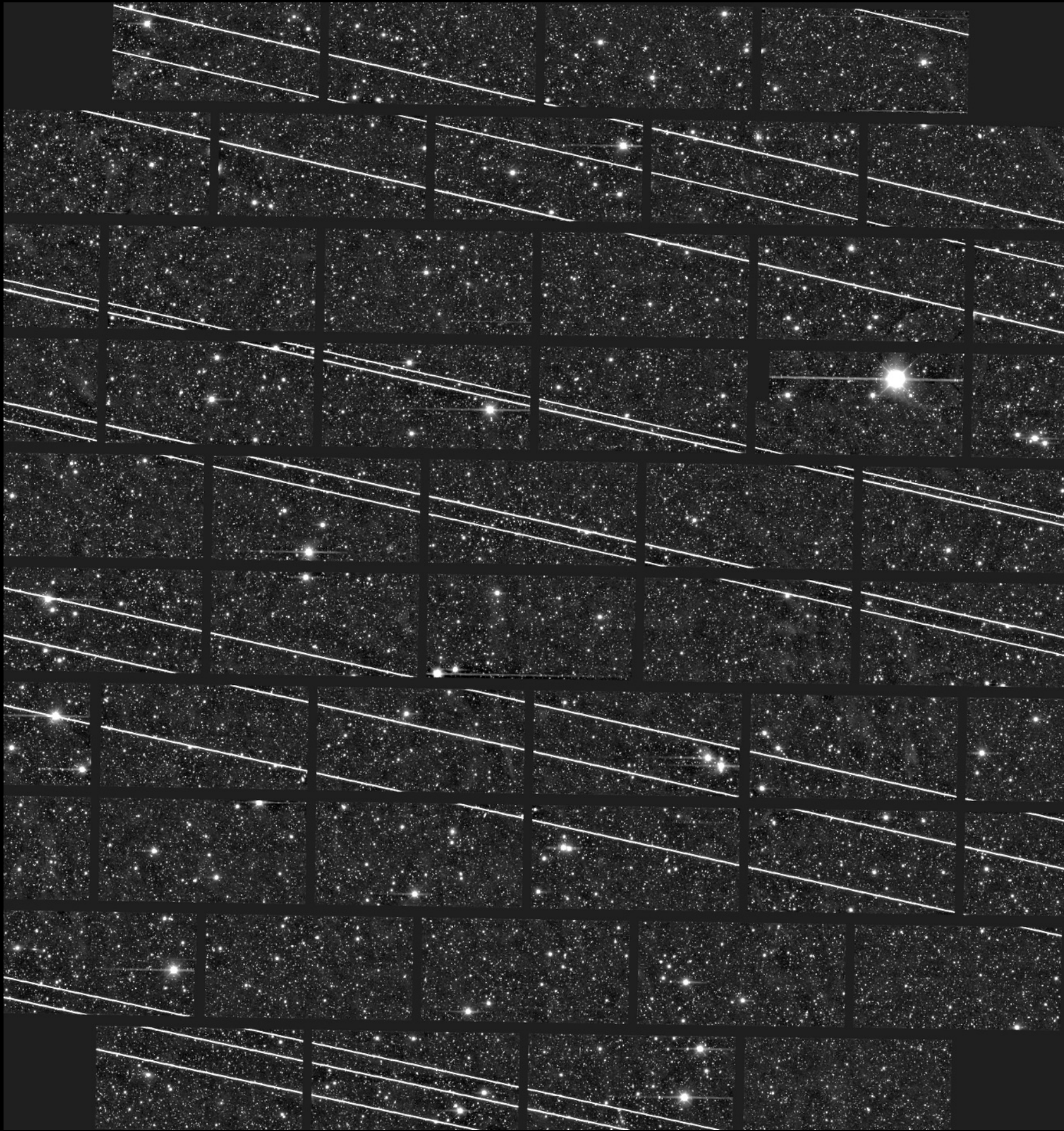


<https://rubinobservatory.org/news/first-alerts>

- O LSST gerará cerca de **1 a 10 milhões de alertas** de mudança de brilho/posição por noite.
- Cada alerta precisa ser emitido para o mundo em até **60 segundos** após a leitura do sensor.
- **Impossibilidade humana** de analisar essa quantidade de informação **manualmente**.



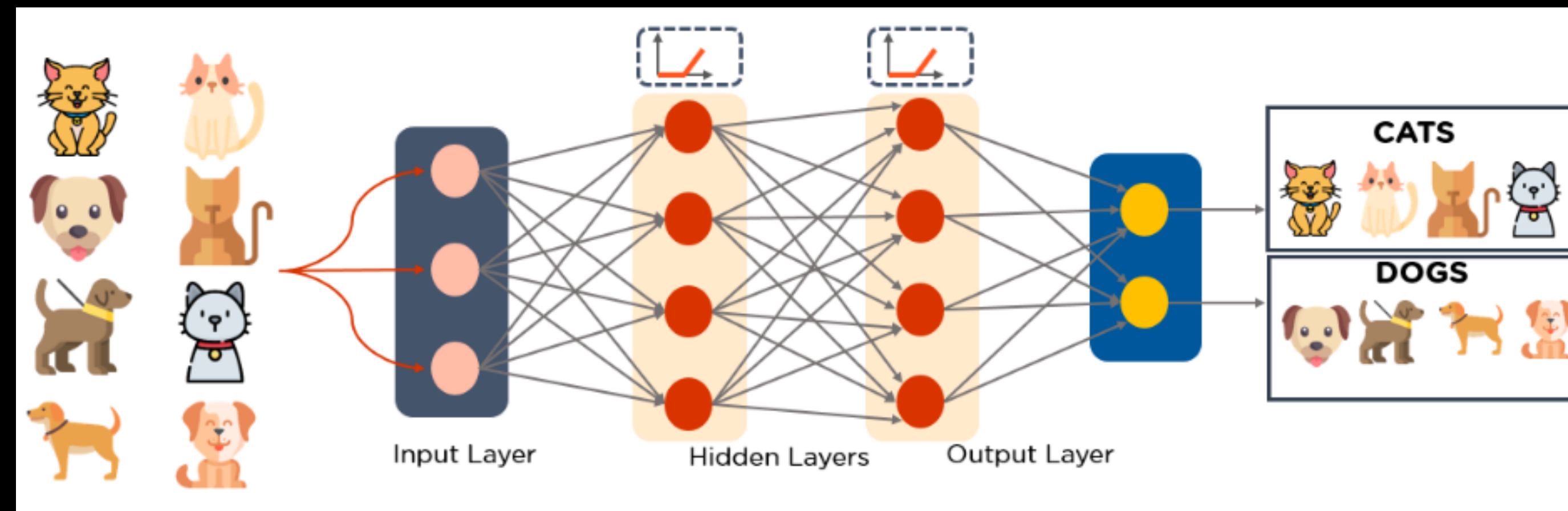
# Fluxos de Processamento Automatizados: Do Pixel à Ciência



- Redução de dados **totalmente automatizada**: remoção de ruído, calibração astrométrica e fotométrica sem intervenção humana.
- **Softwares** precisam decidir de forma autônoma o que é um artefato de imagem e o que é um objeto astronômico real.



# Aprendizado de Máquina (Machine Learning) e Inteligência Artificial



[https://www.simplilearn.com/ice9/free\\_resources\\_article\\_thumb/Multilayer\\_Perceptron.PNG](https://www.simplilearn.com/ice9/free_resources_article_thumb/Multilayer_Perceptron.PNG)

- Uso de Redes Neurais Convolucionais (CNNs) para classificação automática de galáxias e detecção de anomalias.
- Algoritmos de aprendizado de máquina para prever quais alertas correspondem a supernovas raras ou asteroides potencialmente perigosos.



# *Alert Brokers: Os Filtros Inteligentes da Comunidade*

- Como os astrônomos lidam com 10 milhões de alertas diários?
- *Alert Brokers*: plataformas de computação em nuvem que filtram e direcionam apenas os eventos de interesse para cada grupo de pesquisa.

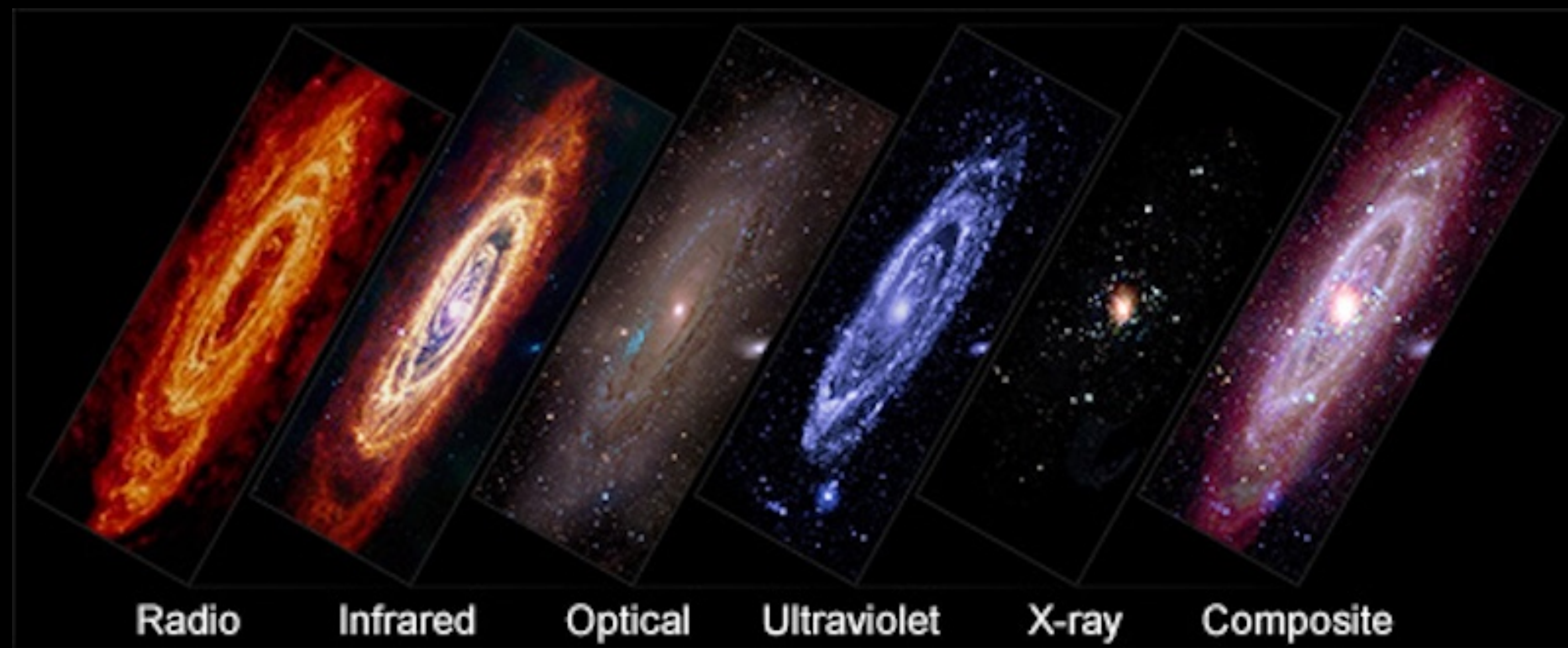


# O Estado da Arte da Instrumentação



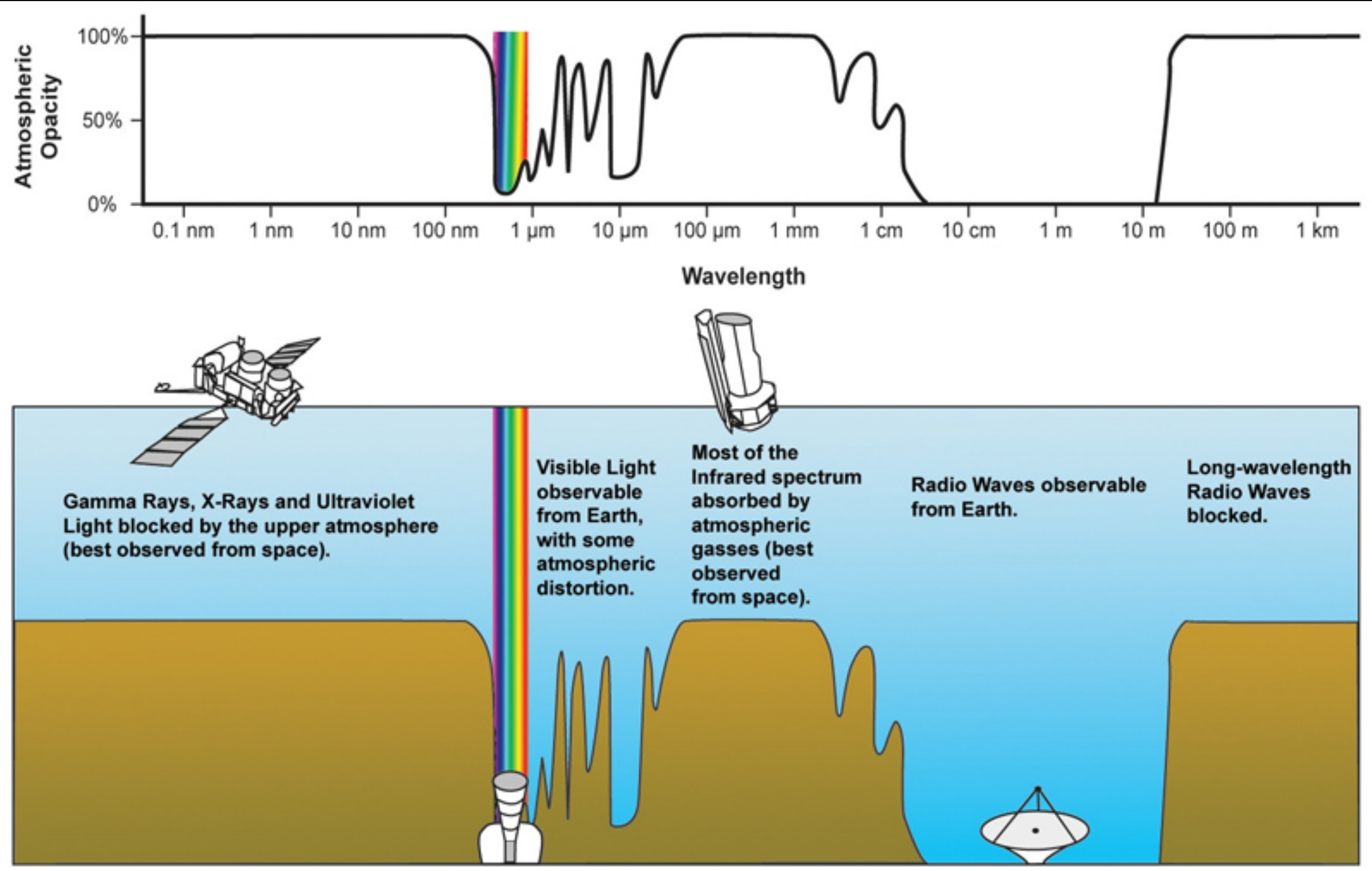
# Múltiplos Comprimentos de Onda: Ver o Invisível

- A luz visível reflete apenas uma fração dos fenômenos do Universo.
- Infravermelho, rádio, raios-X e raios gama revelam processos físicos completamente distintos.



<https://earthsky.org/space/andromeda-galaxy-galaxies-chandra-x-ray-observatory-universe/>



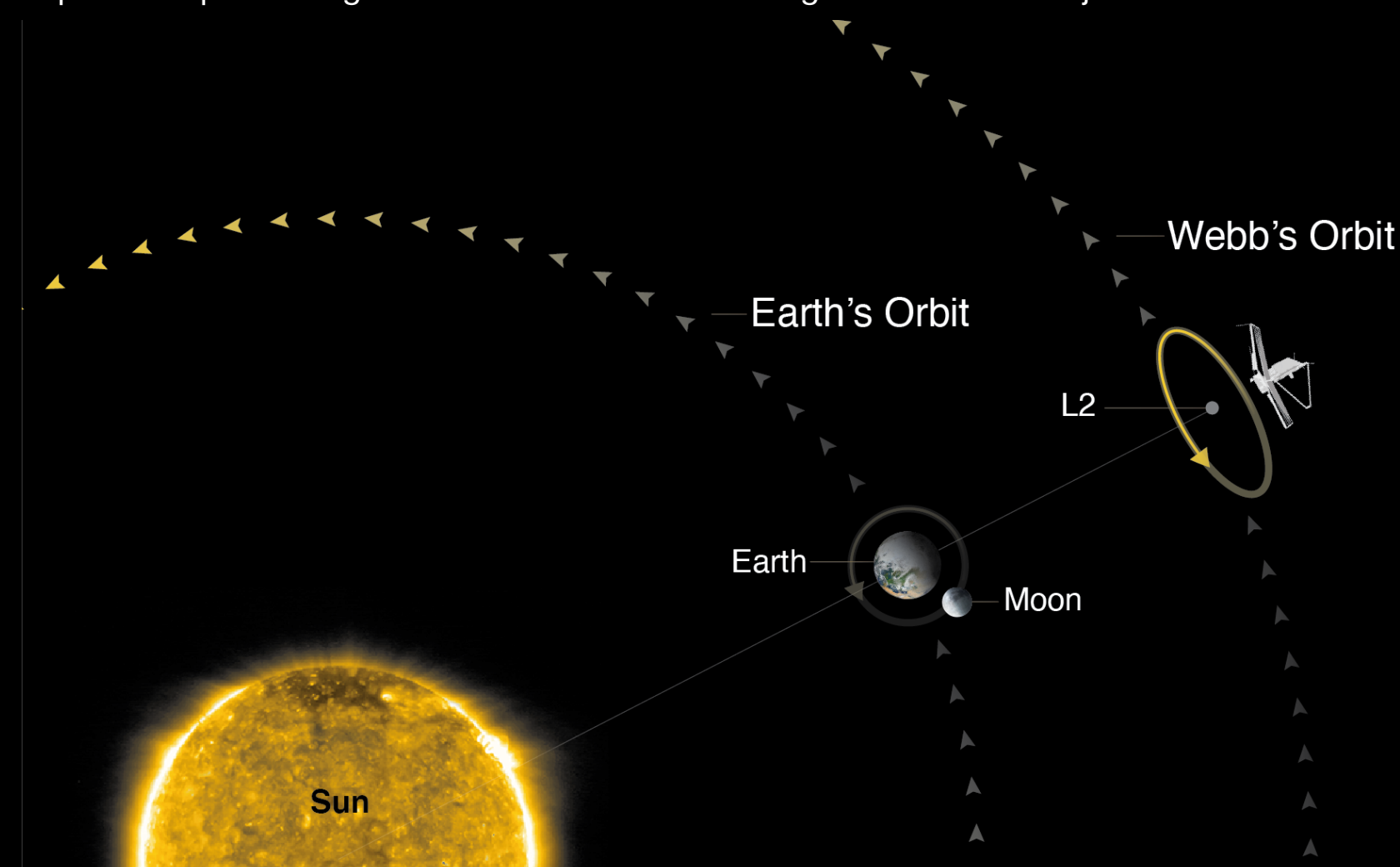


[https://earthguide.ucsd.edu/eoc/special\\_topics/teach/sp\\_climate\\_change/p\\_atmospheric\\_window.html](https://earthguide.ucsd.edu/eoc/special_topics/teach/sp_climate_change/p_atmospheric_window.html)

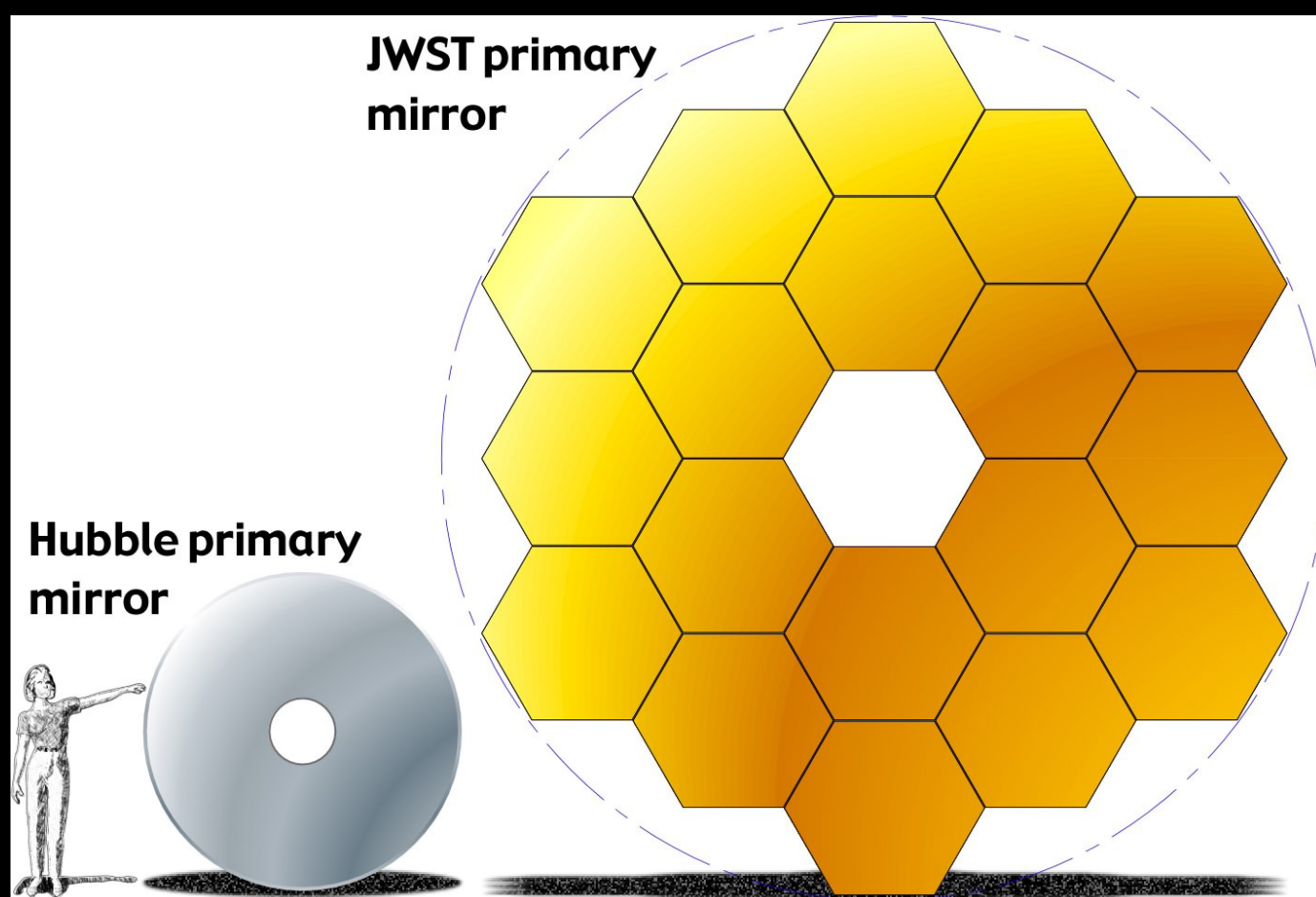


# James Webb Space Telescope (JWST)

<https://astropontos.org/2022/01/21/a-historia-o-design-e-a-ciencia-do-jwst/>



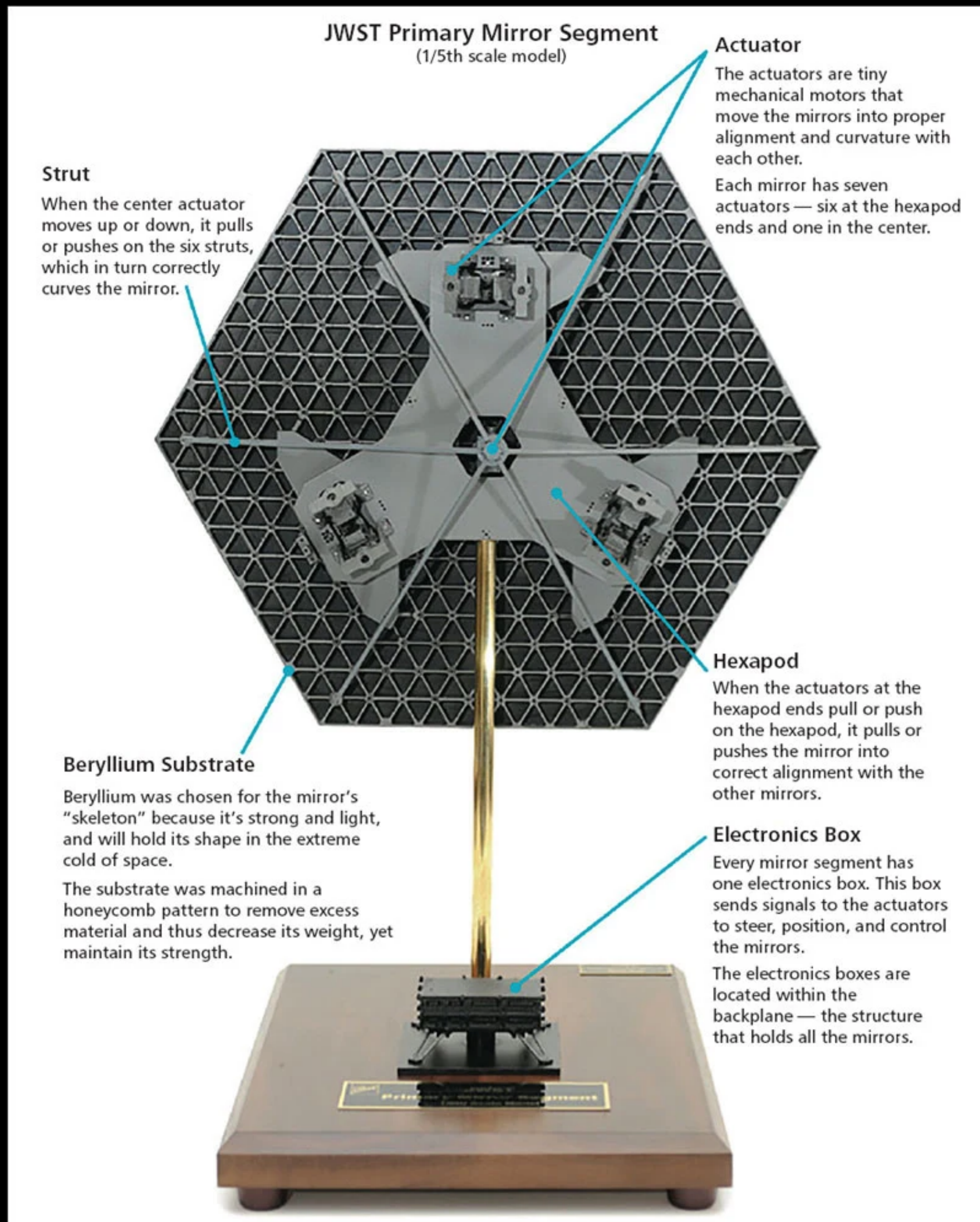
<https://astropontos.org/2022/01/21/a-historia-o-design-e-a-ciencia-do-jwst/>



- **Maior e mais complexo** telescópio espacial já lançado (focado no **infravermelho próximo e médio**).
- **Órbita** no ponto de Lagrange **L2** (1,5 milhão de km da Terra).
- Objetivo: **capturar a luz das primeiras estrelas e galáxias** formadas após o Big Bang.



# Engenharia de Precisão: O Escudo Térmico e os Espelhos Hexagonais

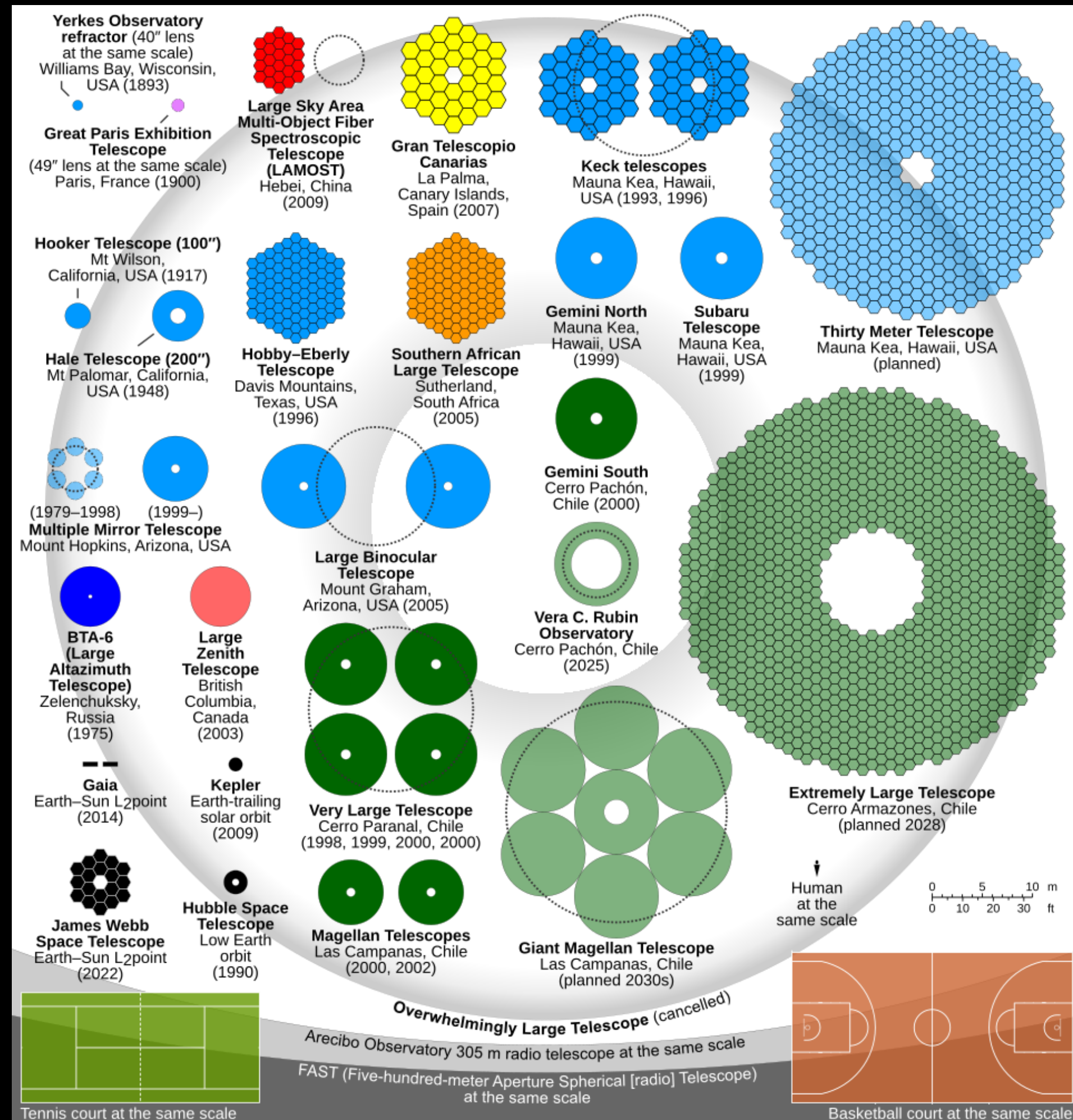


<https://www.techbriefs.com/component/content/article/27948-webb-telescope-actuators-move-with-microscopic-accuracy>

- Espelho primário de 6,5 metros banhado a ouro, dividido em 18 segmentos ajustáveis por nanômetros.
- Escudo de proteção solar de 5 camadas do tamanho de uma quadra de tênis para manter os instrumentos a  $-233^{\circ}\text{C}$ .



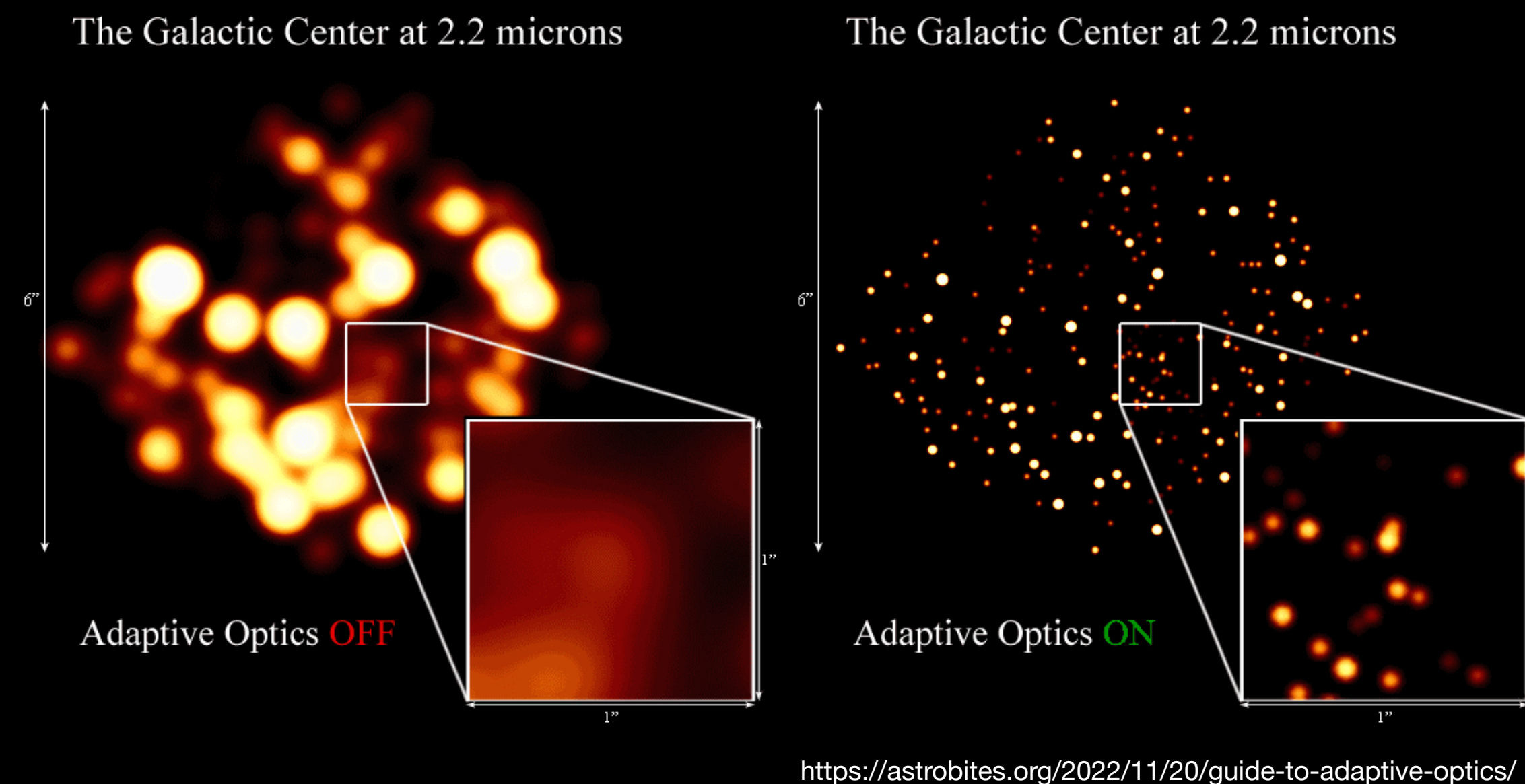
# A Era dos Telescópios Extremamente Grandes (ELTs)



- Nova geração de observatórios terrestres na faixa dos **30 a 40 metros de diâmetro** (ex: ELT do ESO, GMT).
- Estruturas mecânicas do tamanho de estádios de futebol para suportar espelhos compostos por centenas de segmentos.



# Óptica Adaptativa: Corrigindo a Atmosfera



- A **turbulência** atmosférica faz as estrelas **piscarem** e borra as imagens.
- Solução: Disparo de lasers guias para criar **estrelas artificiais** na atmosfera superior.
- **Espelhos deformáveis** ajustados milhares de vezes por segundo para anular a turbulência em tempo real.



# O Retorno Social



# Ciências Básicas versus Ciências Aplicadas

- Ambas são complementares e indissociáveis.
- Ciência básica (geradora de conhecimento): aquisição de novos conhecimentos e desenvolvimento de teorias.
- Ciência aplicada (reinterpretação do conhecimento): faz uso de conhecimentos já existentes para aquisição de novos e resolução de problemas práticos.

# Ciências Básicas versus Ciências Aplicadas

- **Justificativa socioeconômica:** A tecnologia desenvolvida para resolver problemas astronômicos retorna à sociedade.
- **A busca por limites astronômicos gera soluções para problemas do cotidiano.**



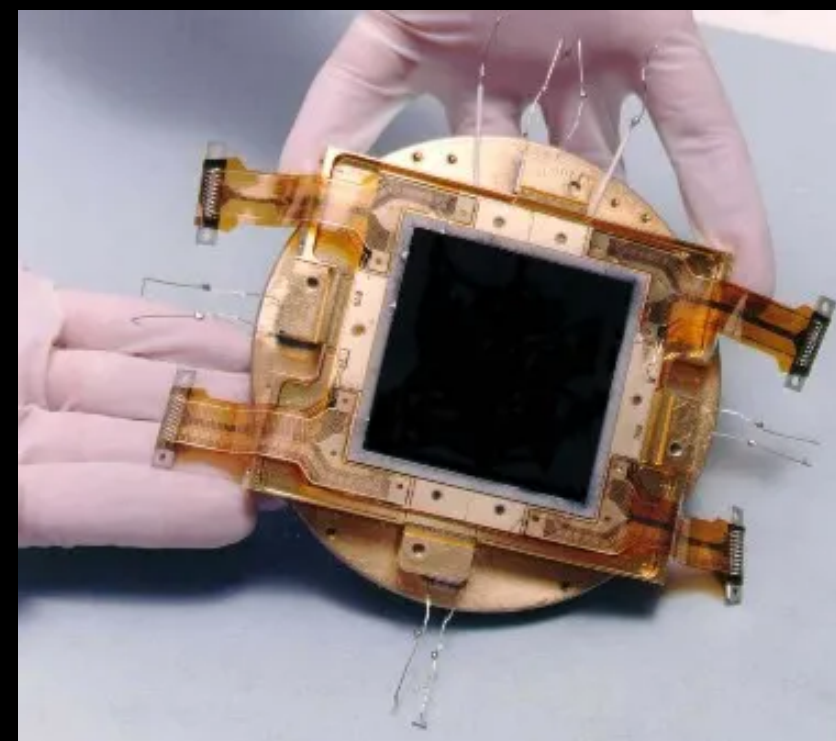
# A Astronomia no dia-a-dia (documento da União Internacional de Astronomia)

[https://www.iau.org/public/themes/astronomy\\_in\\_everyday\\_life/brazilian\\_portuguese/#Da%20Astronomia%20%C3%A0%20Ind%C3%A9stria](https://www.iau.org/public/themes/astronomy_in_everyday_life/brazilian_portuguese/#Da%20Astronomia%20%C3%A0%20Ind%C3%A9stria)

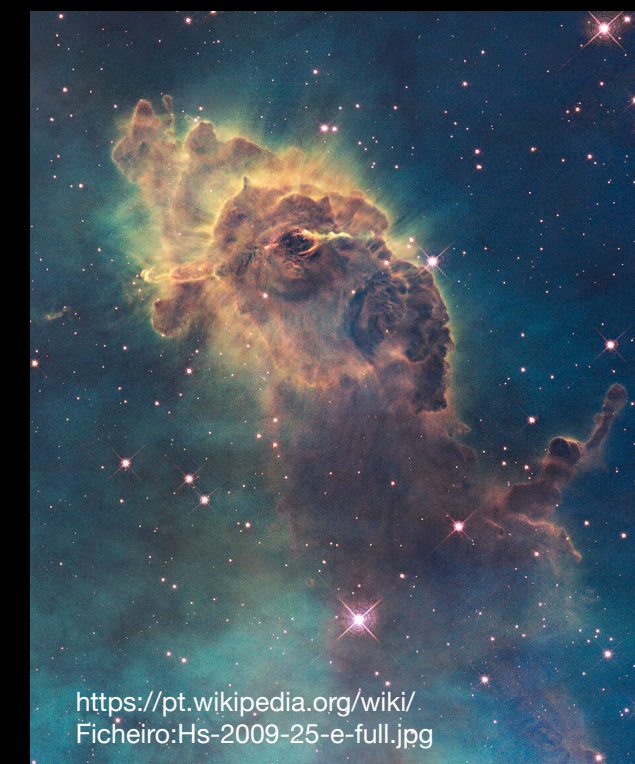
*"Em 2009, Willard S. Boyle e George E. Smith receberam o Prêmio Nobel da Física pelo desenvolvimento de outro dispositivo que seria amplamente utilizado na Indústria. Os sensores para captura de imagem desenvolvidos para imagens astronômicas, conhecidos como dispositivos acoplados por carga (ou Charge Coupled Devices), os CCD, foram utilizados pela primeira vez em Astronomia em 1976. Em poucos anos, eles substituíram o filme, não apenas em telescópios, mas também em muitas câmaras pessoais, webcams e telefones celulares. A melhoria e a popularidade dos CCDs são atribuídos à decisão da NASA de usar a tecnologia CCD super sensível no Telescópio Espacial Hubble (Kiger & English, 2011)"*



<https://canaltech.com.br/espaco/hubble-29-anos-historia-curiosidades-e-descobertas-do-telescopio-espacial-137831/>



<https://medium.com/team-rover/enter-the-lens-to-the-world-beyond-cbf30d49e9dd>



<https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Hs-2009-25-e-full.jpg>



<https://www.nationalgeographicbrasil.com/espaco/2023/04/os-5-misterios-espaciais-soluçionados-que-resultaram-em-descobertas-cientificas>



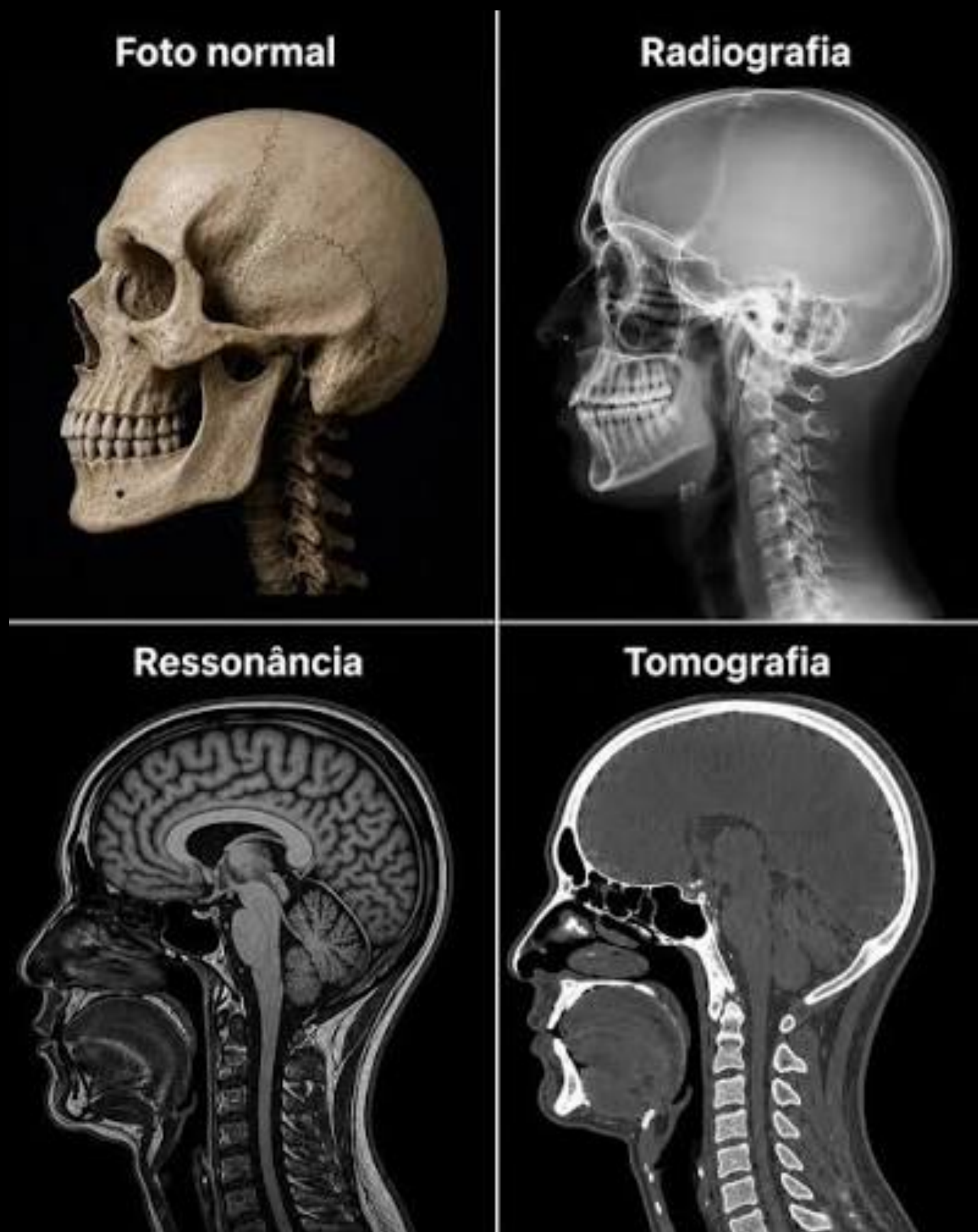
# Da Radioastronomia ao Wi-Fi Moderno



- Algoritmos criados para **eliminar ruídos em sinais de radiotelescópios** (pesquisa de John O'Sullivan).
- Patenteamento dessa lógica de comunicação sem fio, tornando-se a base fundamental do **Wi-Fi moderno**.



# Aplicações na Medicina e Diagnóstico de Imagem



- Algoritmos de **detecção de fontes astronômicas** aplicados na análise automática de **mamografias e exames de retina**.
- **Técnicas de processamento de imagem** usadas para melhorar a resolução de **ressonâncias magnéticas**.

# Formação de Capital Humano e Profissionais de TI

- Formação de astrônomos e astrofísicos com sólidas competências em estatística, simulação, ciência de dados e aprendizado de máquina.
- Absorção desses profissionais pelo mercado de trabalho em setores como finanças, TI, inteligência artificial e indústria de ponta.



# Conclusão da Aula 3

- A astronomia é o grande laboratório de testes da tecnologia de ponta global.
- Desvendar o Universo exige redefinir a computação e a engenharia.

# Onde Entra o Brasil Nessa História?

- Como o Brasil participa desses consórcios globais (DES, SDSS, Rubin/LSST, GMT)?
- Qual é o retorno industrial, tecnológico e acadêmico real para a nossa nação?





[monteiro-oliveira.com/talks](https://monteiro-oliveira.com/talks)



