



Explorando o Passado com o JWST

Christopher N. A. Willmer
Steward Observatory,
Universidade do Arizona



Conteúdo

- **Motivação.**
- **Técnicas observacionais.**
- **Descrição do JWST.**
- **Propriedades de estrelas.**
- **Composição de galáxias.**
- **Uma resenha incompleta do que aprendemos desde Julho de 2022.**
- **Resumo**



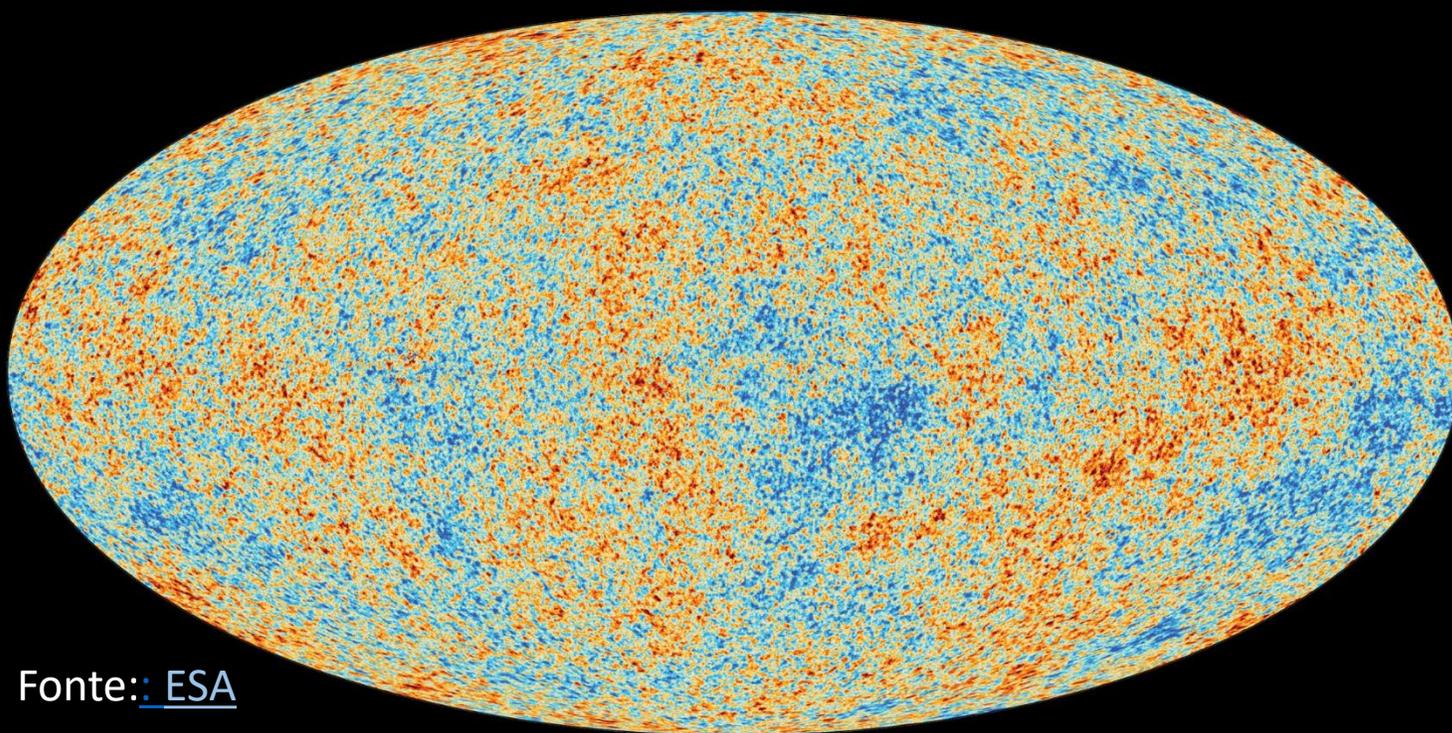
Motivação

- Como o surgiu o universo em que vivemos?
- Os modelos cosmológicos são tão diversos quanto as culturas que os engendraram.
- A Cosmologia Física usa modelos físicos-matemáticos que para descrever as observações e fazer previsões de resultados.





A iniciativa Origins da NASA visa explicar a ligação evolutiva entre



Fonte: [ESA](#)

as flutuações observadas na Radiação
Cósmica de Fundo



Fonte : [NASA](#)

E as condições permitindo a
habitabilidade (e mesmo vida) em
planetas.





Cosmology



Star Formation

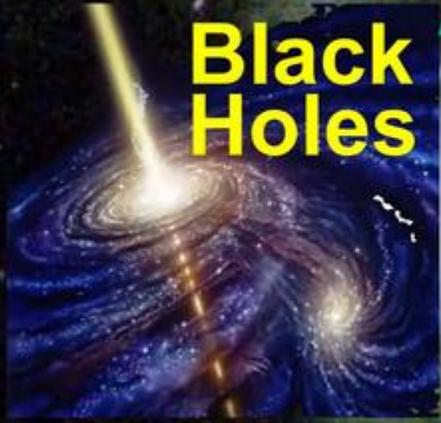


FEEDBACK

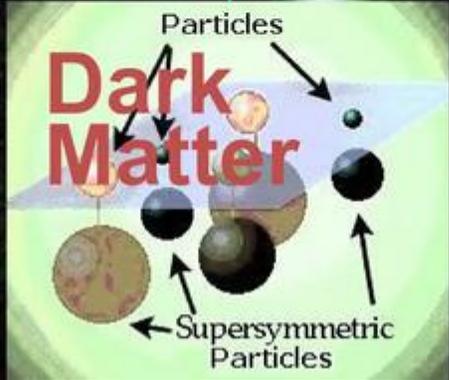
Galaxy Formation



Stellar Evolution



Black Holes



Dark Matter



Chemical Enrichment

Fonte:
Romeel Davé



2023-08-0

Hubble GOODS field





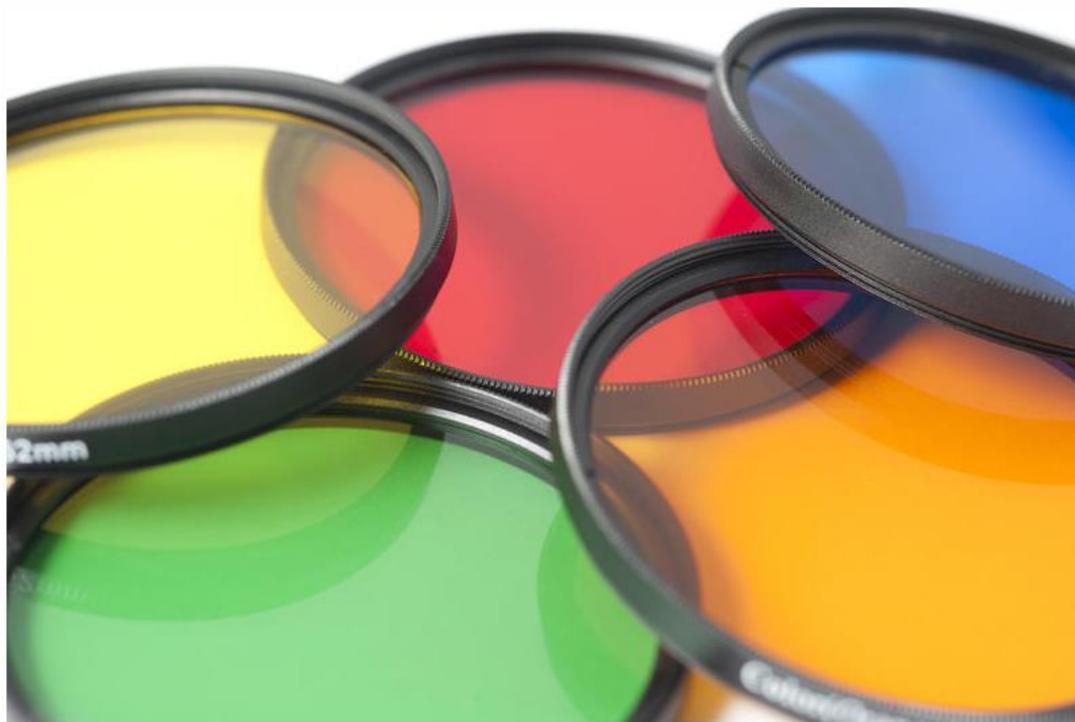
Berkowski 1851

Técnicas observacionais: Imageamento





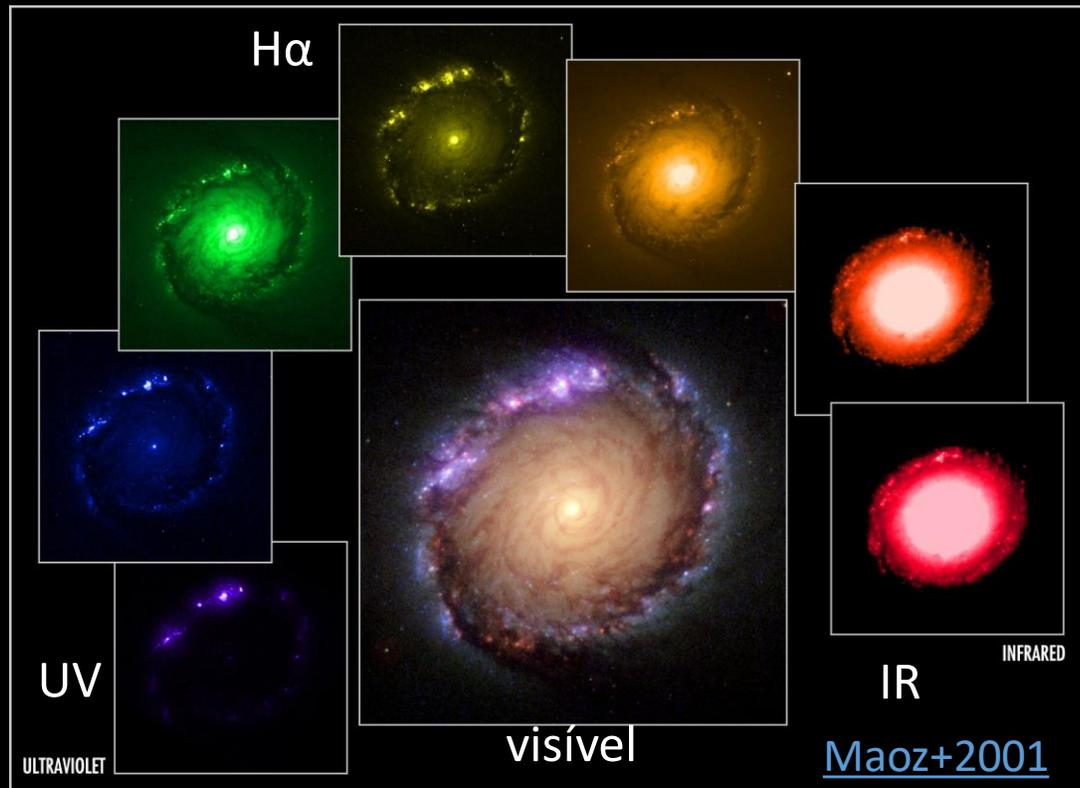
Fotometria



- É a técnica usada para medir a energia recebida de uma fonte.
- Porque as propriedades das fontes variam com os comprimentos de onda, estas medidas são feitas em diversas *bandas* ou *filtros* .
- As imagens também são usadas para obter posições precisas dos objetos (*astrometria*) de importância fundamental para observações subsequentes.



Imageamento em múltiplas bandas

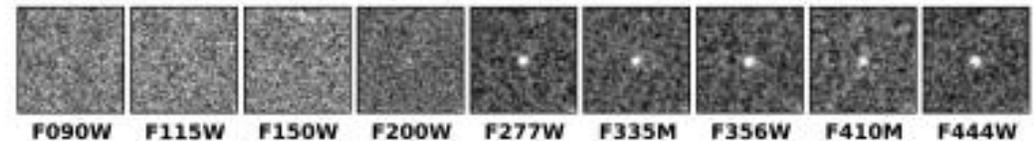
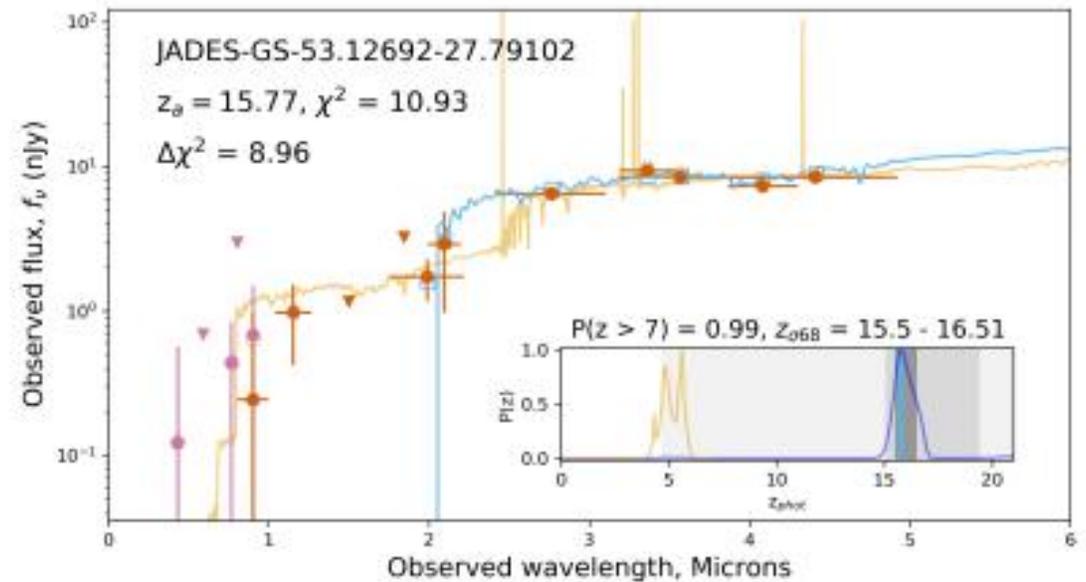
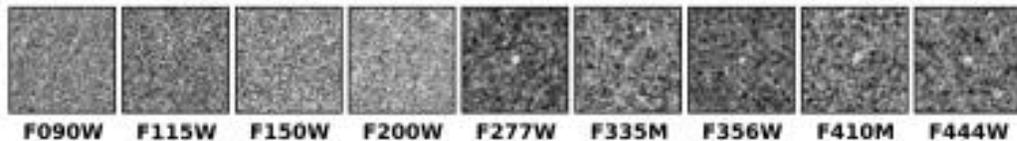
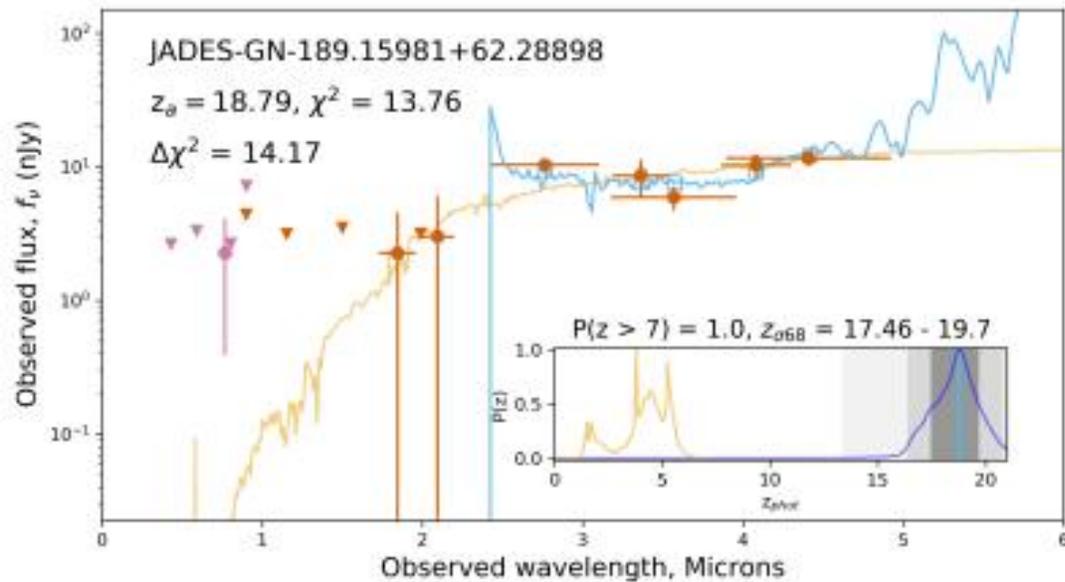


- Galáxia NGC 1512, observada em comprimentos de onda indo do ultra-violeta ($0.90 \mu\text{m}$ [UV] ao infravermelho ($1.87 \mu\text{m}$, [IR]). As distintas *populações estelares* predominam em diferentes comprimentos de onda.



Medidas fotométricas usadas para reconstituir o espectro de galáxias

Hainline+ 2023





Espectroscopia



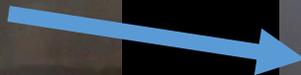
Fonte



UAz Hydrology and Atmospheric Sciences 2021-07-18 06:24:29

dispersor

(gotas de água, prisma, rede de difração , grisma)

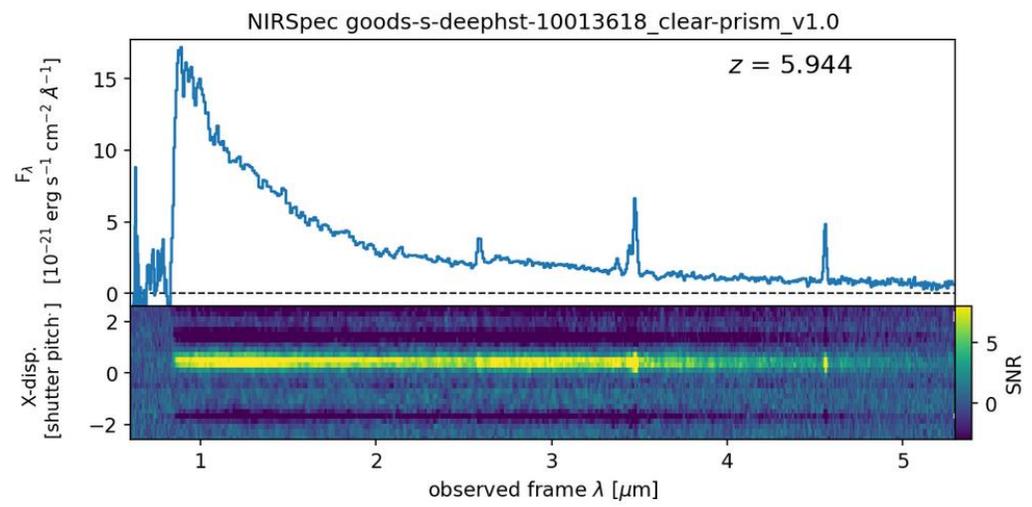


Espectro





Catalog Information
id: 10013618
ra: 53.11911
dec: -27.76080
redshift: 5.942



[Bunker+2023](#)

- Permite medir a densidade de energia por intervalo de comprimento de onda (*fluxo*) em uma resolução muito mais alta que fotometria.
- Em termos observacionais é uma técnica mais onerosa (em tempo), mas é a única forma de medir a composição química e propriedades dinâmicas dos astros. Também providencia medidas muito mais precisas de distâncias



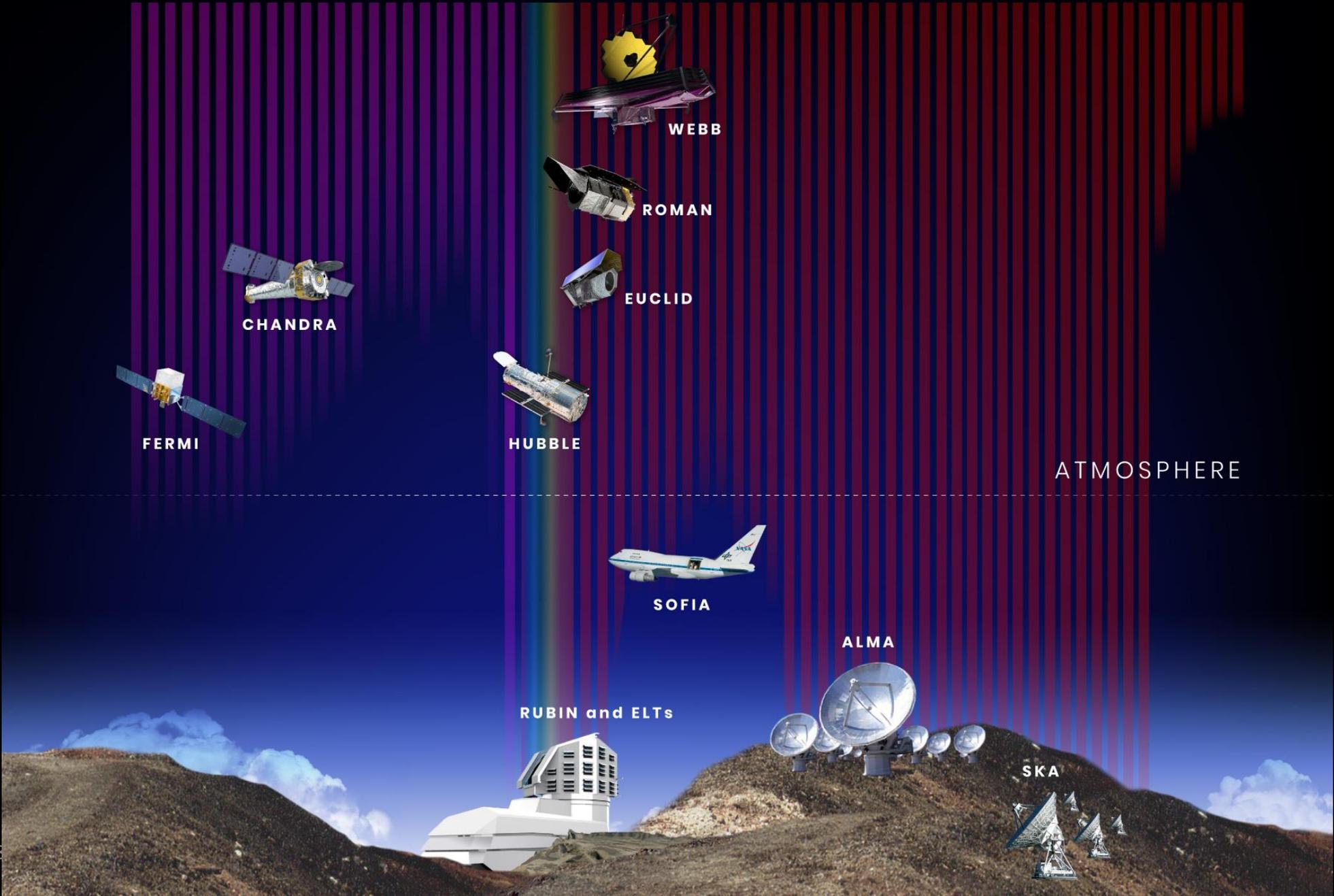


- Até os anos 1930 todas as observações astronômicas se limitaram a comprimentos de onda entre 0.32 e $1.0 \mu\text{m}$
- As primeiras observações fora do visível utilizaram radio-telescópios.
- A radiação no infra-vermelho foi descoberta em 1800, mas só na década de 1960 começaram as primeiras observações sistemáticas.
- O acesso a um domínio espectral amplo requer observações fora da atmosfera:
 - A visibilidade em vários comprimentos de onda é limitada pela opacidade da atmosfera.
 - Observações espaciais eliminam as limitações meteorológicas (chuva, nuvens, turbulência atmosférica e poluição luminosa) e a opacidade da atmosfera.





GAMMA X-RAY ULTRAVIOLET VISIBLE INFRARED MICROWAVE RADIO



FERMI

CHANDRA

HUBBLE

WEBB

ROMAN

EUCLID

SOFIA

RUBIN and ELTs

ALMA

SKA

ATMOSPHERE





O Telescópio Espacial James Webb

- É uma colaboração entre a NASA, e as Agencias Espaciais Européia (ESA) e Canadense (CSA/ASC)
- Usa três espelhos de berílio folheados a ouro para otimizar a transmissão no infra-vermelho.
- O espelho primário possui **18** segmentos e um diâmetro de 6,5m

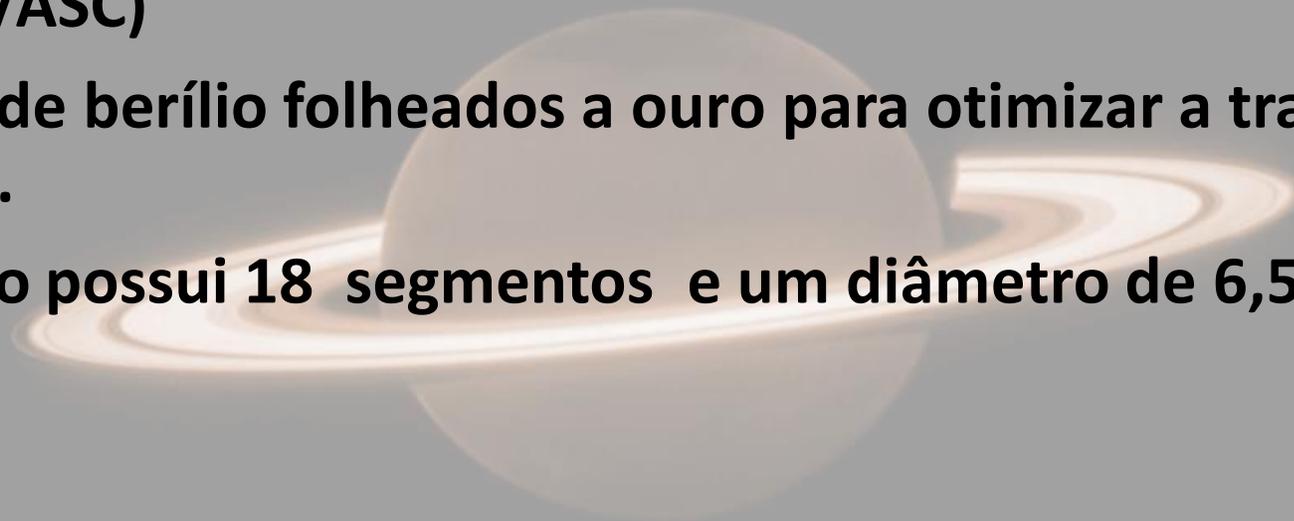
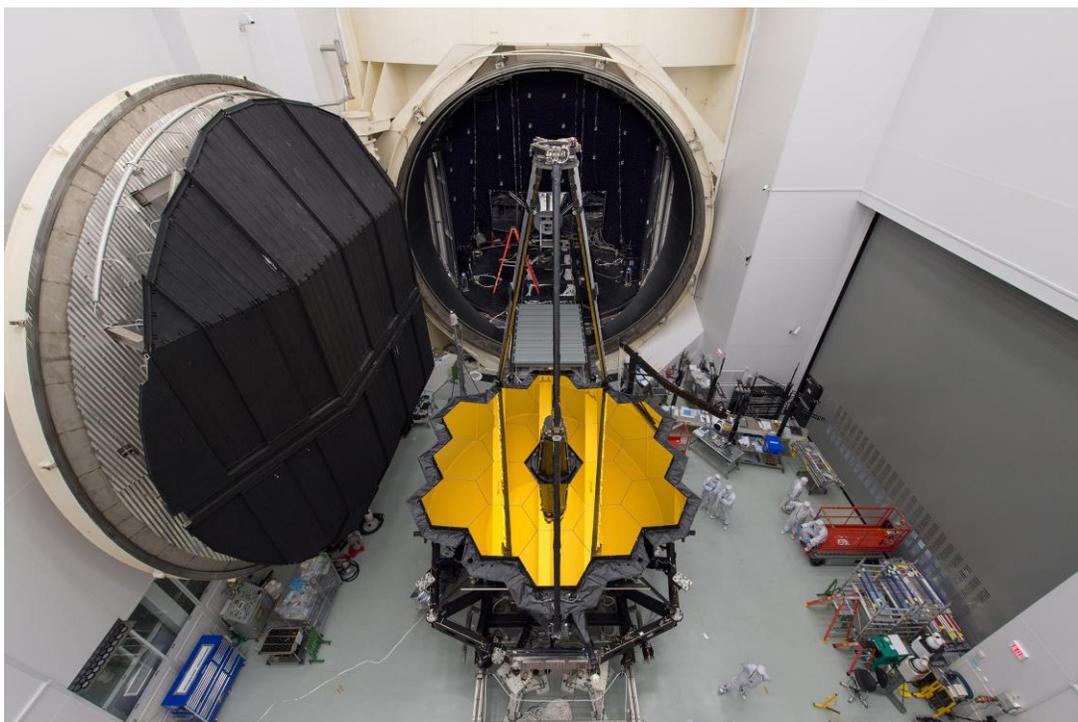


Imagem: [ESA](#)



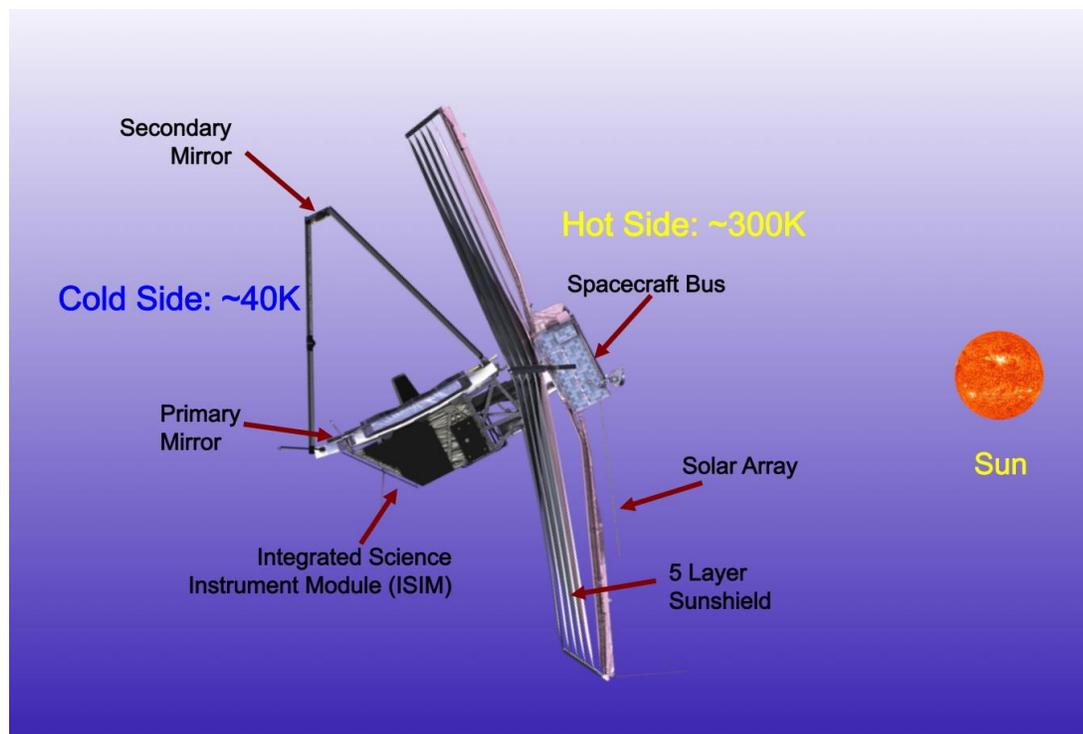
Duas fases na construção do JWST



Johnson Space center em 2016 (acima) e Northrop Grumman em 2020 (ao lado)



Componentes do JWST

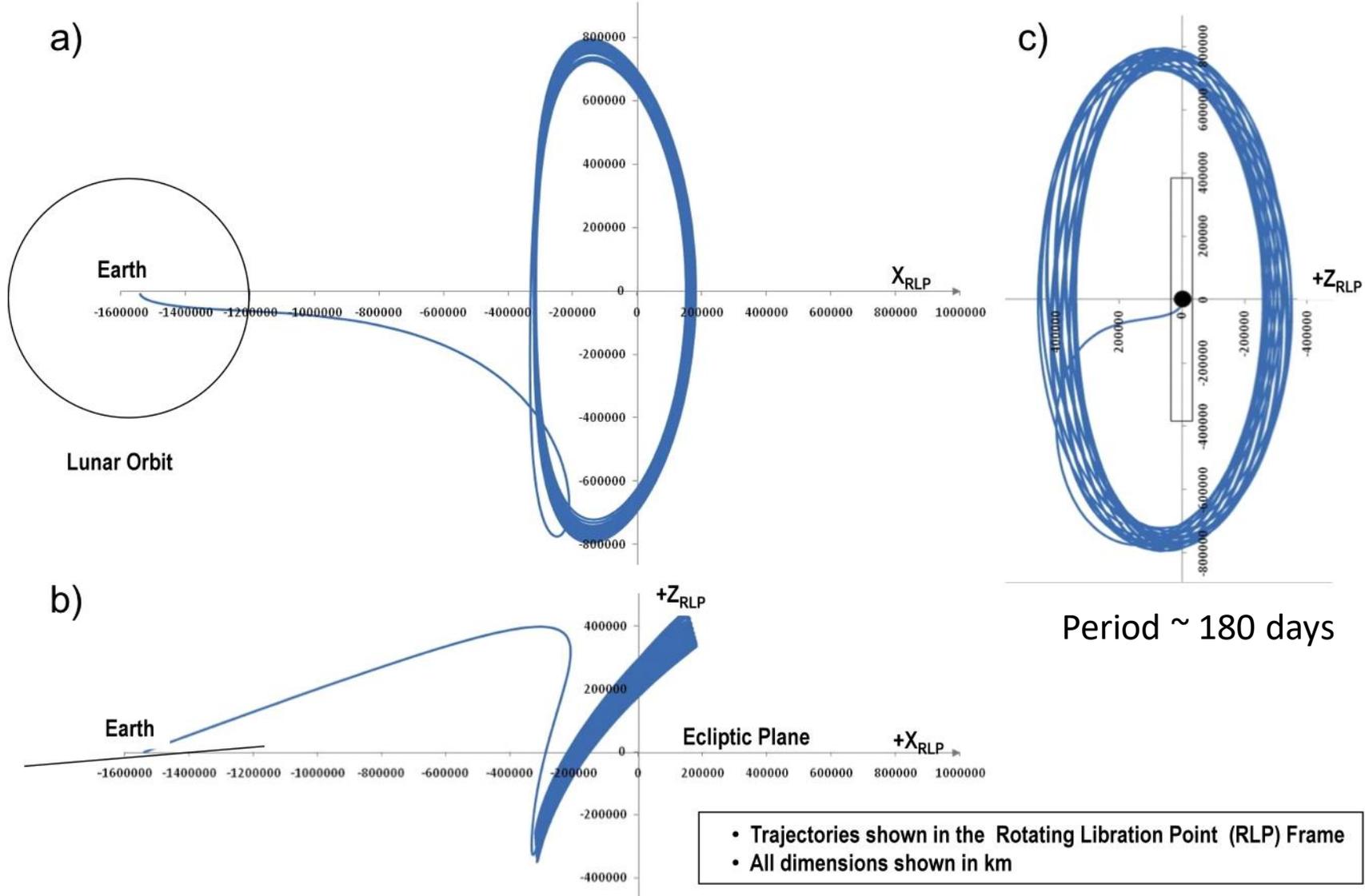


- Espelhos (primário e secundário)
- Módulo integrado de instrumentos (ISIM)
- Módulo de controle da espaçonave
- Parasol
- O telescópio é sempre orientado de forma que nenhuma luz do Sol, Terra e Lua seja incidente no espelho e instrumentos





O JWST orbita em torno do Ponto Lagrangeano L2 do Sistema Sol-Terra





Instrumentos

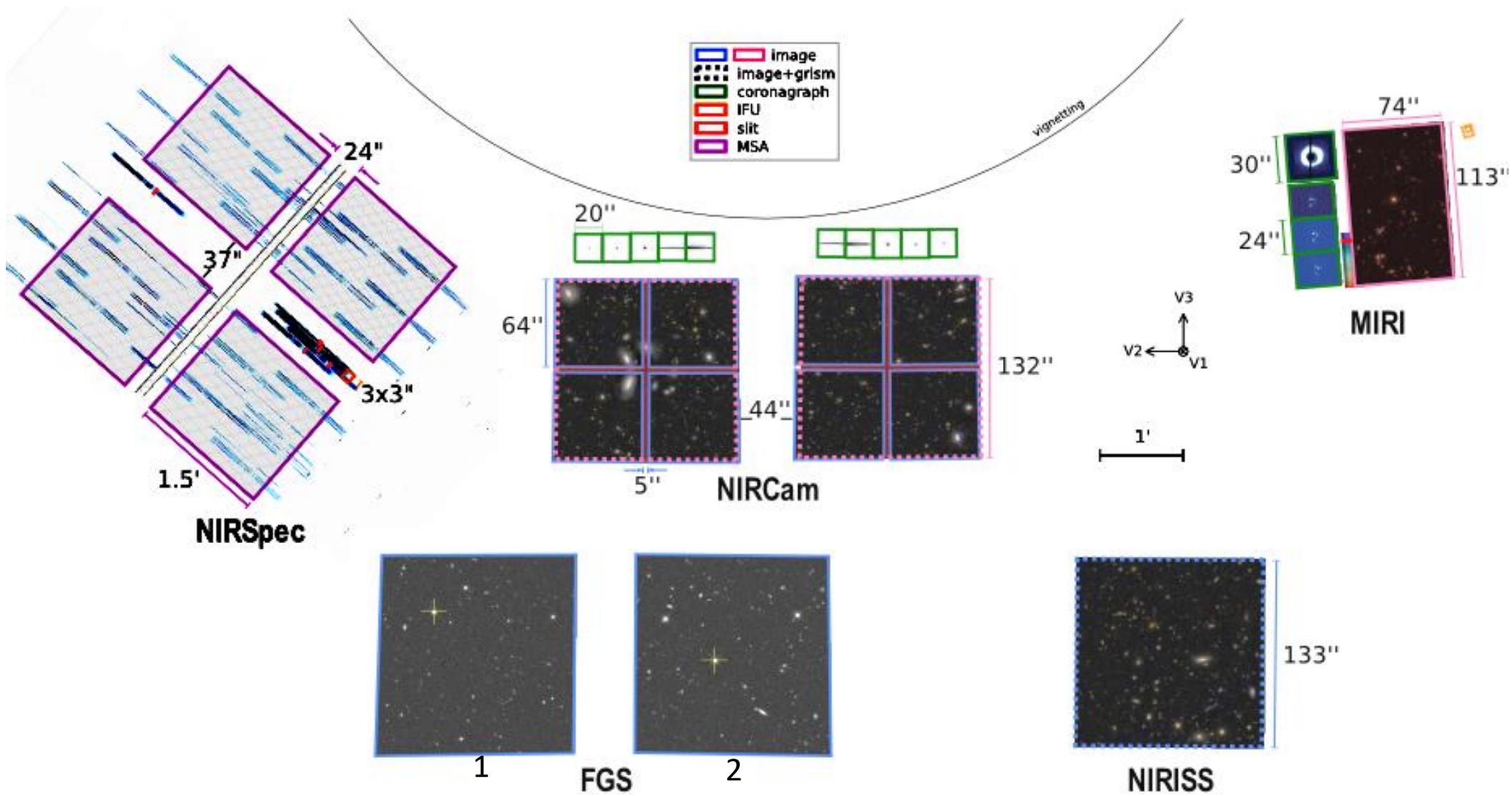
- FGS1, FGS2 Câmaras de guiagem, usadas para apontar o telescópio (*calagem*) e *guiagem* durante as observações.
- MIRI cobre de 5 a 28 μm , para imagens, *imageamento de alta resolução* e espectroscopia de fenda única e *campo integral* (“IFU”).
- NIRCам cobre de 0.6 a 5.0 μm , para imageamento de bandas largas, médias e estreitas, *coronografia* e espectroscopia sem fendas.
- NIRISS cobre de 0.6 a 5.0 μm , também para imageamento de bandas largas e médias, *imageamento de alta resolução* e espectroscopia sem fendas.
- NIRSpec cobre de 0.6 a 5.0 μm , para espectroscopia de campo integral, fenda simples e de múltiplas fendas, com prisma e 4 redes de difração
- É possível fazer observações simultâneas com 2 instrumentos diferentes

Fundo: [Judy Schmidt](#)



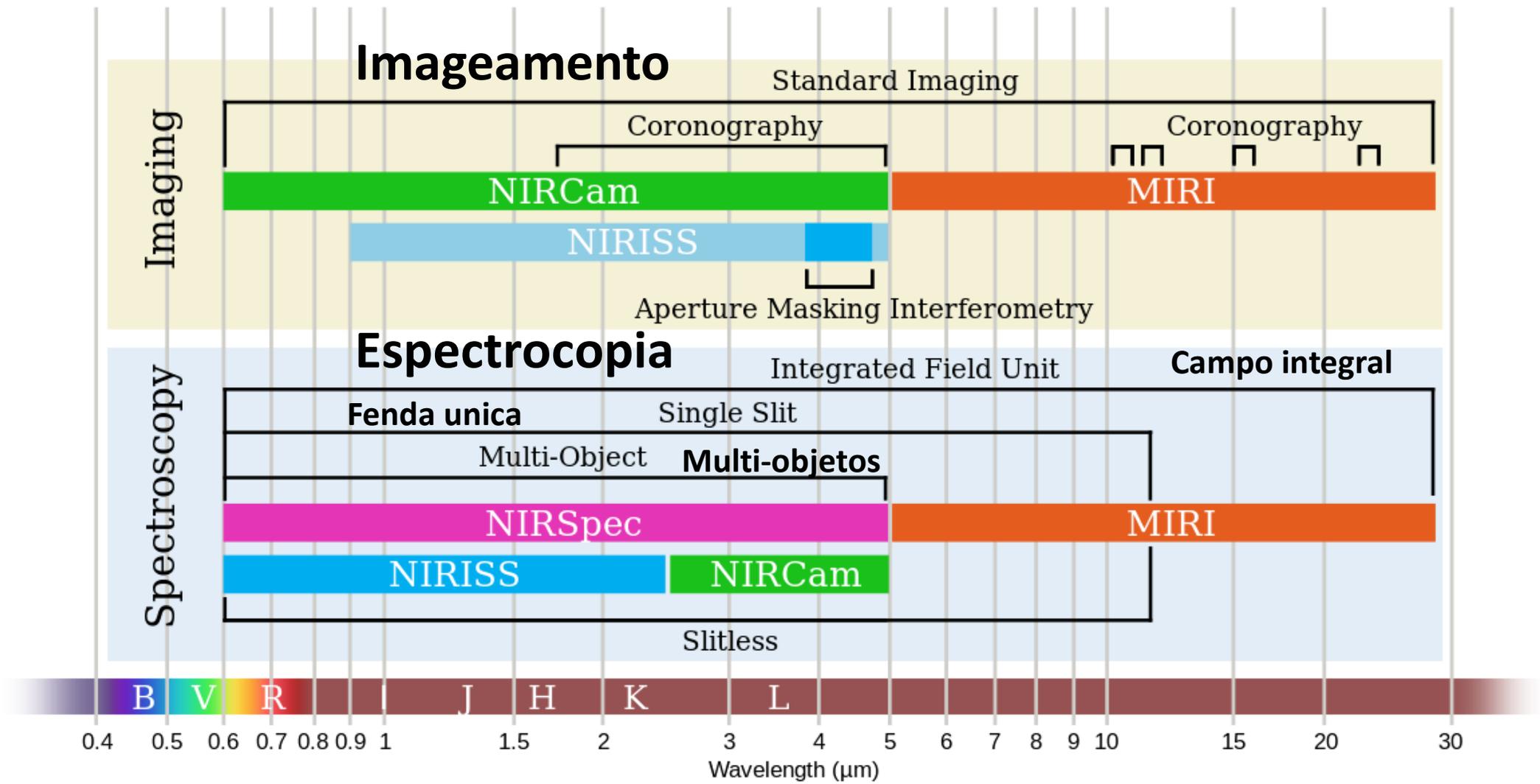


Localizacao dos instrumentos no plano focal do JWST





Modos de observação e comprimentos de onda do JWST





Estrelas

- **Contém H, He e traços de outros elementos (*metais*)**
 - **A quantidade de metais e localização na galáxia permitem classificar estrelas**
 - **População I – mais rica em metais, predominantes no disco da Via Láctea.**
 - **População II - pobres em metais, predominantes no halo e núcleo da Via Láctea e aglomerados globulares.**
 - **População III – primeira geração de estrelas, desprovidas de metais, previstas teoricamente cuja detecção observacional é uma das metas de projetos do JWST.**
- **Tipos espectrais – determinados pela massa e temperatura de superfície.**

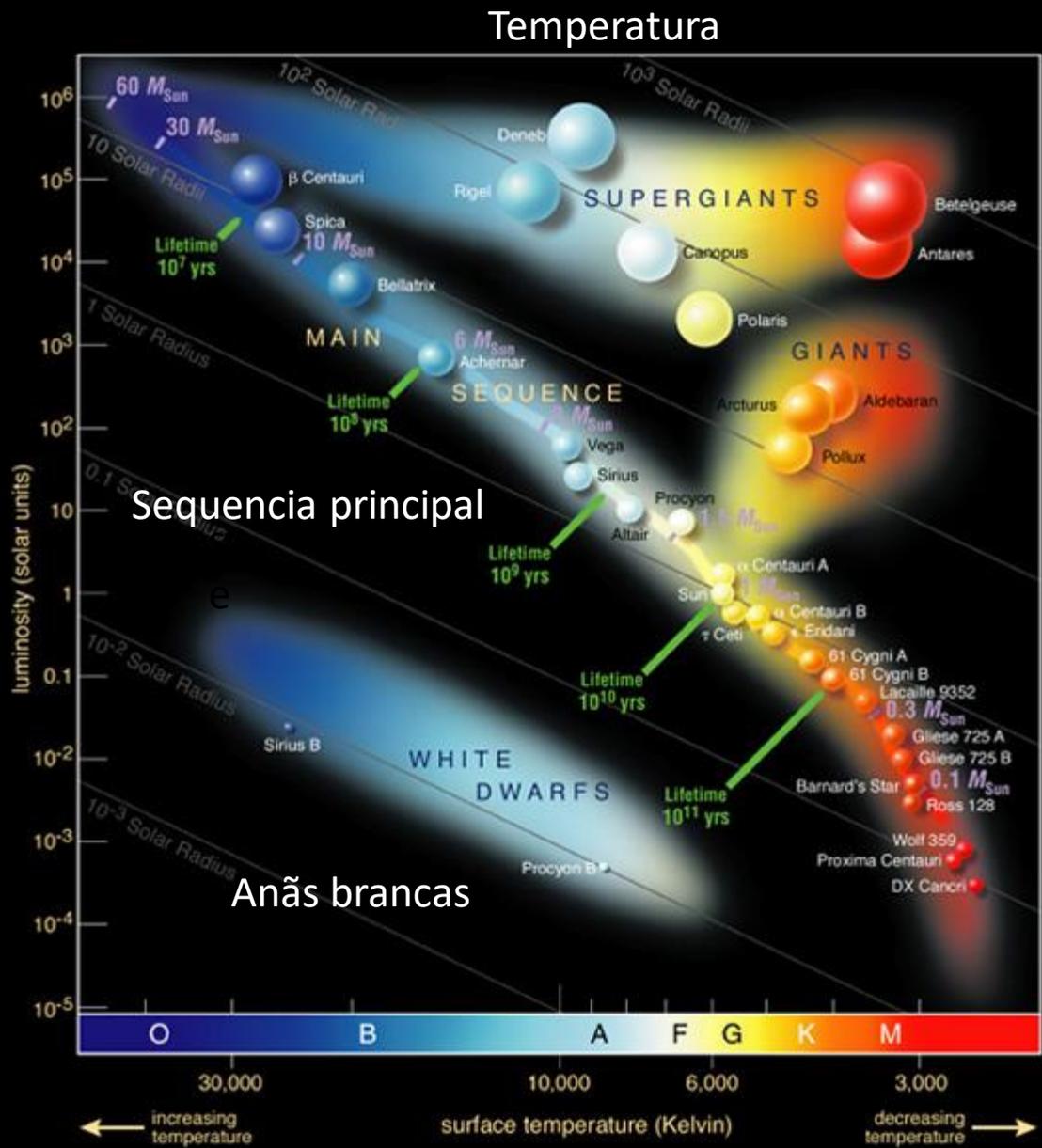
Fundo: ESA





Tipos espectrais:
 Diagrama HR
 (Hertzprung –
 Russell)

Luminosidade



supergigantes

gigantes

Sequencia principal

Anãs brancas

Tipo espectral

Fonte: ESO





Remanescentes de evolução estelar: NGC3132 e SN 1987a

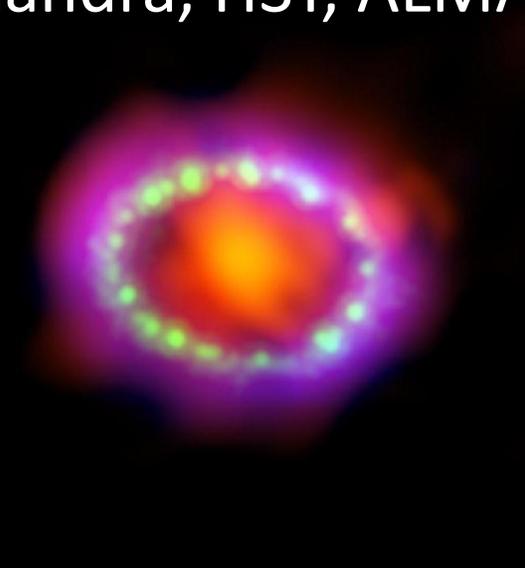
NIRCam



MIRI



Chandra, HST, ALMA



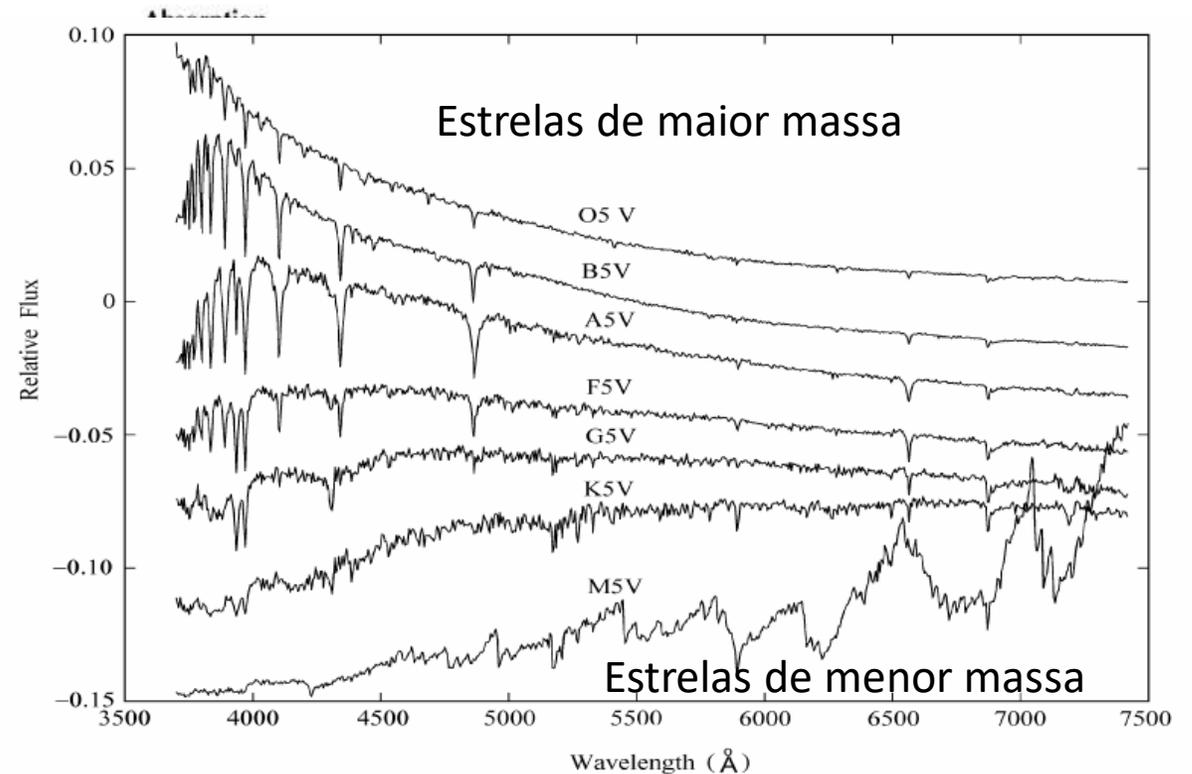
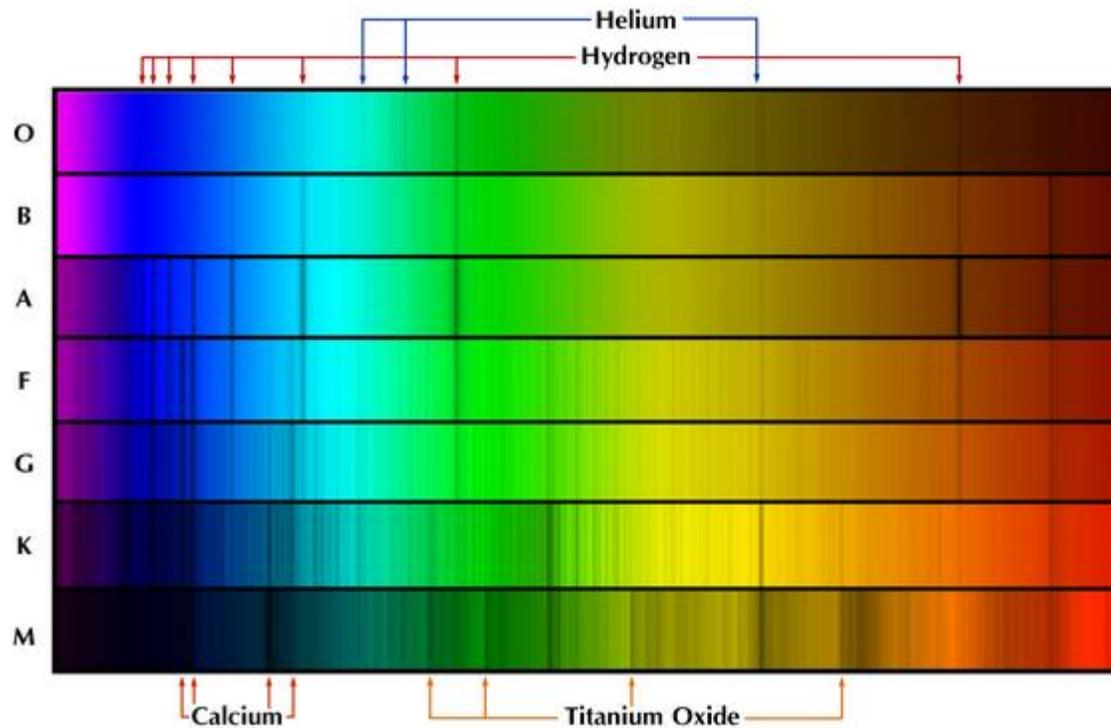
Fonte: [ESA](#)

Fonte: [STScI](#)





Espectros de diferentes tipos de estrelas



À medida que a temperatura de superfície diminui, surgem linhas espectrais de outros elementos e moléculas





- Na teoria cosmológica padrão os primeiros elementos criados no Universo foram hidrogênio e hélio, com alguns traços de lítio.
- Os elementos mais pesados que hélio (*metais* no jargão astronômico) são formados por estrelas em processo que dependem da evolução estelar.
- O *meio interestelar* de galáxias muda com o tempo devido à matéria ejetada na fase final da vida das estrelas.
- A tabela periódica a seguir identifica os processos de formação dos elementos.





The Origin of the Solar System Elements

(Origem dos elementos no Sistema Solar)

Elementos primordiais

Colisão de estrelas de neutrons

Estrelas de pequena massa

Fissão de raios cósmicos

Explosão de estrelas massivas

Explosão de anãs brancas

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|
| 1 H | big bang fusion  | | | | | | | | | | | cosmic ray fission  | | | | | 2 He | | | | |
| 3 Li | 4 Be | merging neutron stars  | | | | | | | | | | exploding massive stars  | | | | 5 B | 6 C | 7 N | 8 O | 9 F | 10 Ne |
| 11 Na | 12 Mg | dying low mass stars  | | | | | | | | | | exploding white dwarfs  | | | | 13 Al | 14 Si | 15 P | 16 S | 17 Cl | 18 Ar |
| 19 K | 20 Ca | 21 Sc | 22 Ti | 23 V | 24 Cr | 25 Mn | 26 Fe | 27 Co | 28 Ni | 29 Cu | 30 Zn | 31 Ga | 32 Ge | 33 As | 34 Se | 35 Br | 36 Kr | | | | |
| 37 Rb | 38 Sr | 39 Y | 40 Zr | 41 Nb | 42 Mo | 43 Tc | 44 Ru | 45 Rh | 46 Pd | 47 Ag | 48 Cd | 49 In | 50 Sn | 51 Sb | 52 Te | 53 I | 54 Xe | | | | |
| 55 Cs | 56 Ba | | 72 Hf | 73 Ta | 74 W | 75 Re | 76 Os | 77 Ir | 78 Pt | 79 Au | 80 Hg | 81 Tl | 82 Pb | 83 Bi | 84 Po | 85 At | 86 Rn | | | | |
| 87 Fr | 88 Ra | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 57 La | 58 Ce | 59 Pr | 60 Nd | 61 Pm | 62 Sm | 63 Eu | 64 Gd | 65 Tb | 66 Dy | 67 Ho | 68 Er | 69 Tm | 70 Yb | 71 Lu | | | | |
| | | | 89 Ac | 90 Th | 91 Pa | 92 U | | | | | | | | | | | | | | | |





Galaxias

- Galaxias são compostas de várias *populações estelares*^{*}, gás, predominantemente hidrogênio neutro (HI) e molecular (H₂), monóxido de carbono (CO), mas também gás ionizado (HII, [OII], O[III], [NII], S[II]) em certas regiões e poeira contendo compostos orgânicos.
- A contribuição de cada uma destas varia com comprimento de onda.
- O uso de fotometria em múltiplas bandas e/ou espectroscopia, permitem reconstruir a *distribuição de energia espectral* das fontes de onde se pode estimar a composição de populações estelares, a massa e a abundância de metais (*metalicidade*).

* Neste caso, o termo “*População estelar*” se refere à mistura de diferentes tipos espectrais





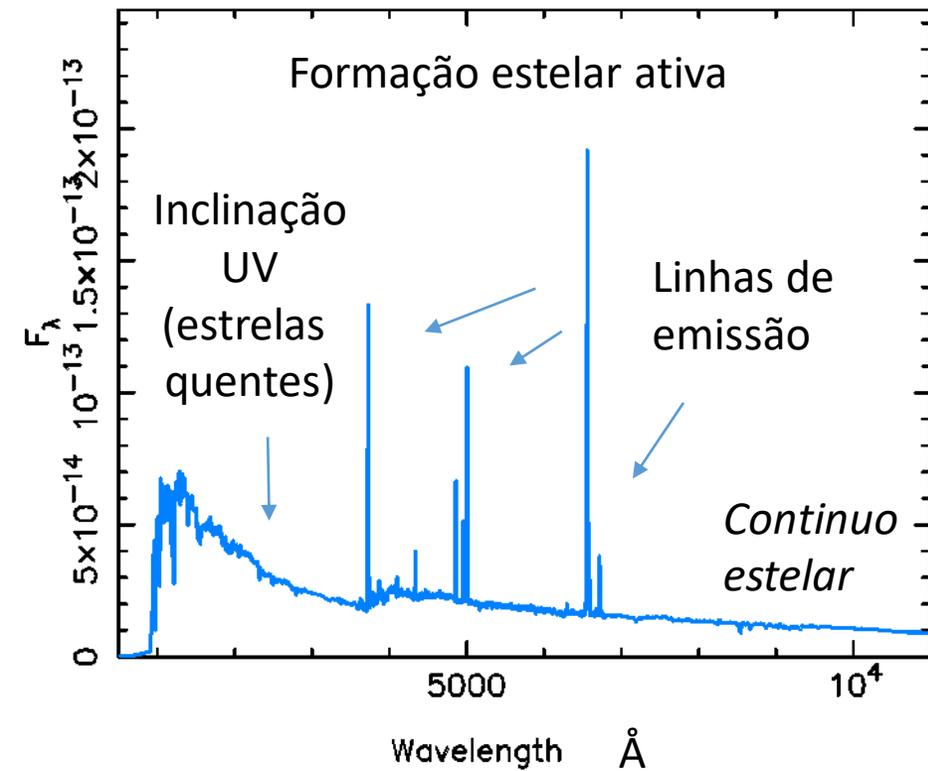
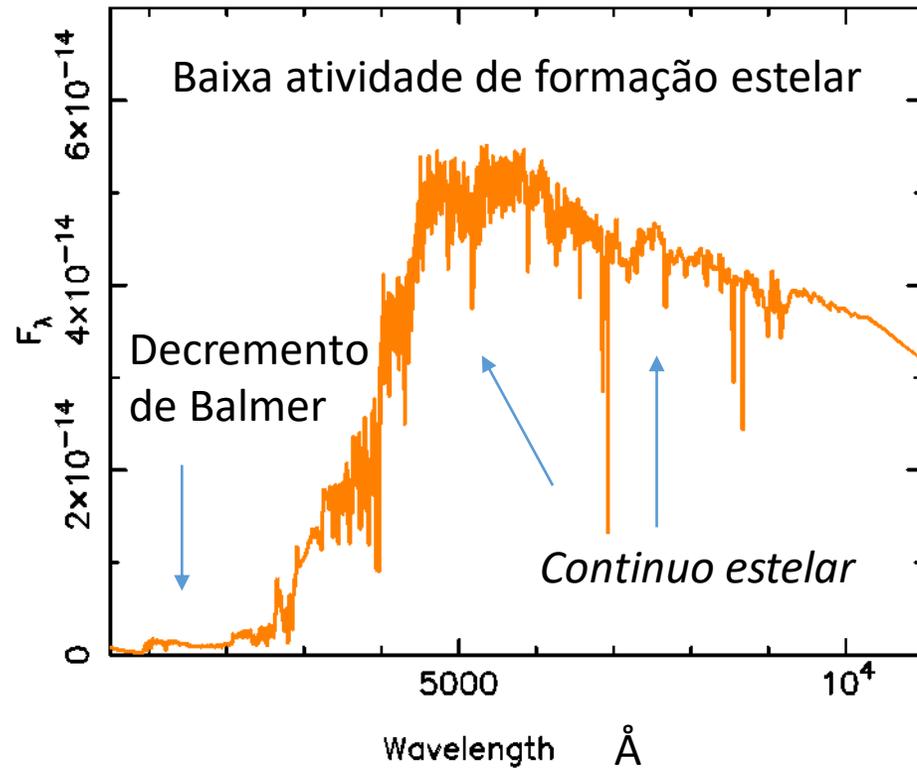
A galáxia M31 em varios comprimentos de onda





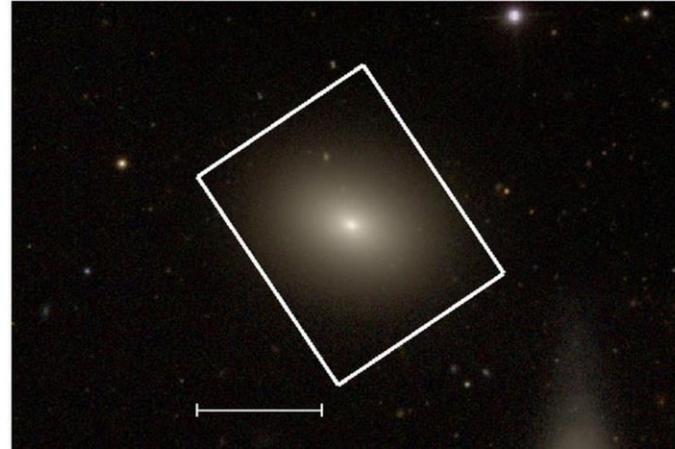
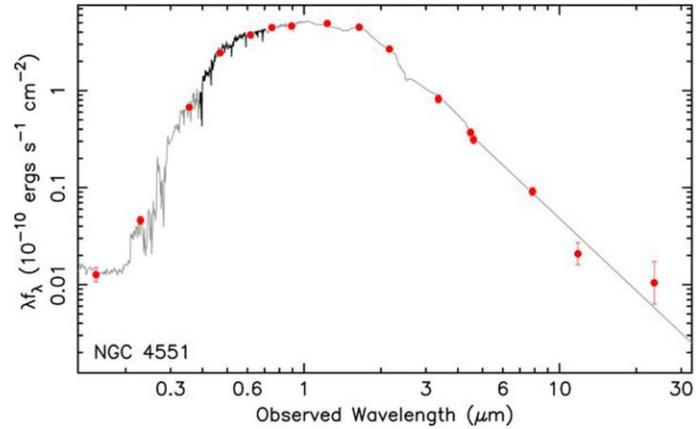
Exemplos de espectros de galaxias

(em comprimentos de onda no repouso)

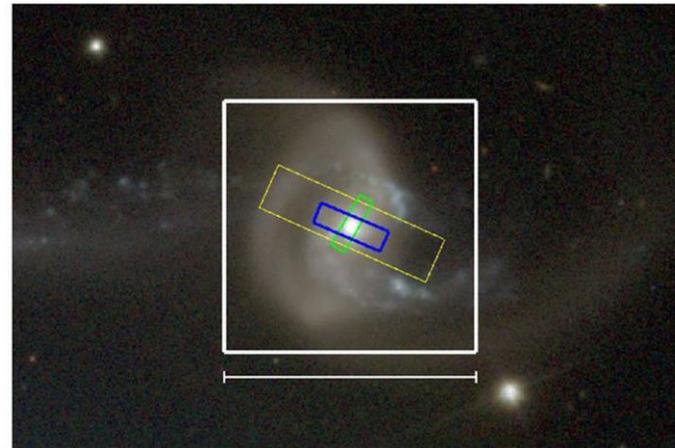
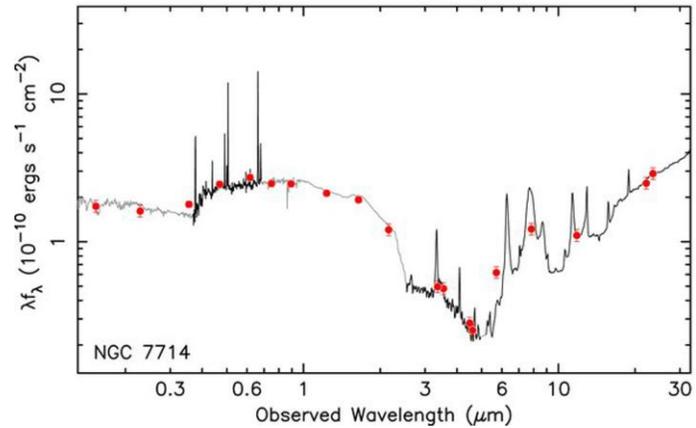




Espectros cobrindo do UV até infra-vermelho médio



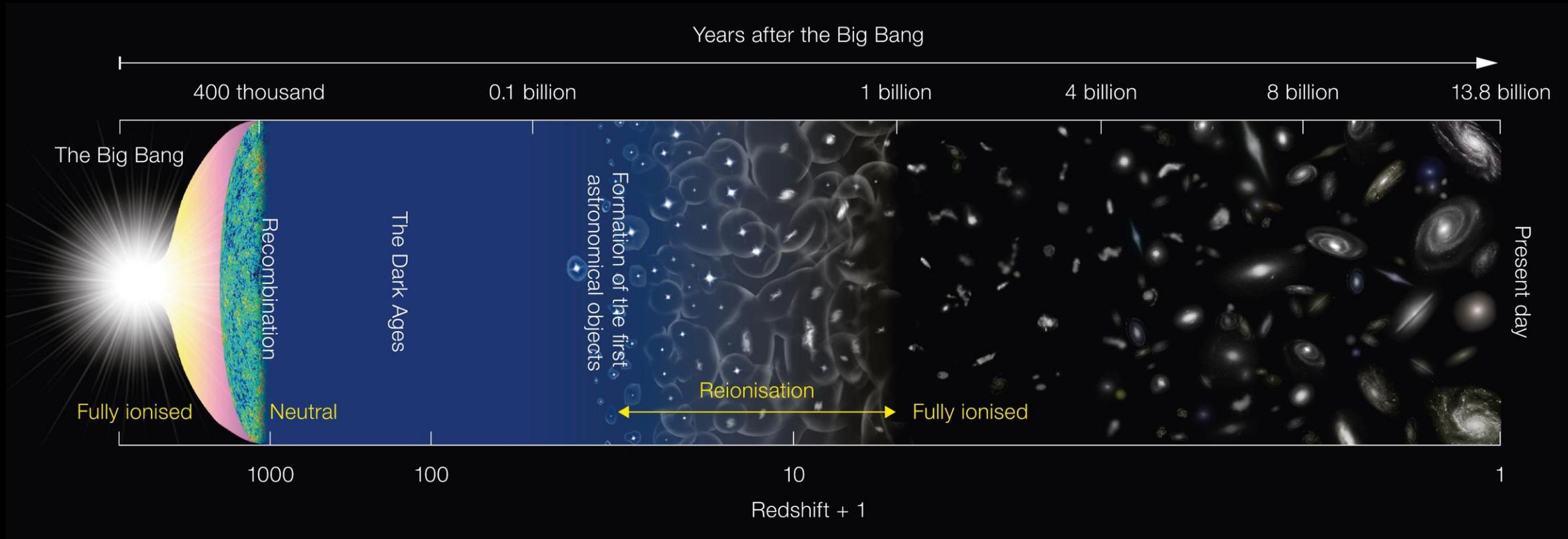
Galáxia sem formação estelar



Galáxia com formação de estrelas que causa emissão significativa no infra-vermelho médio



História do Universo

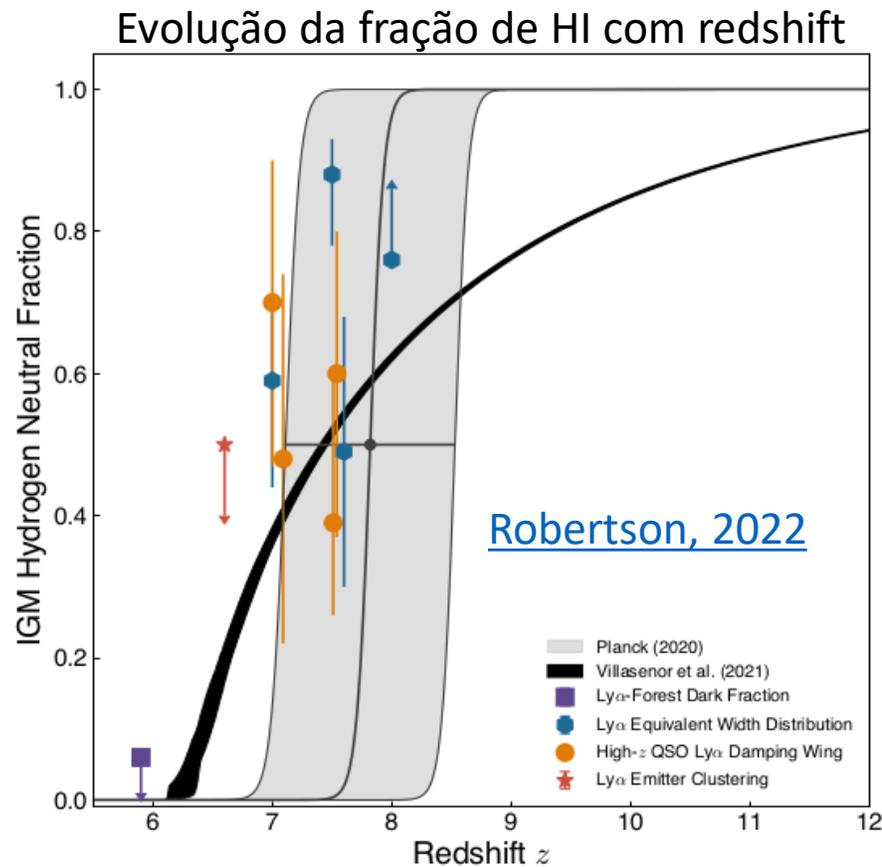


Fonte: National Astronomical Observatory of Japan

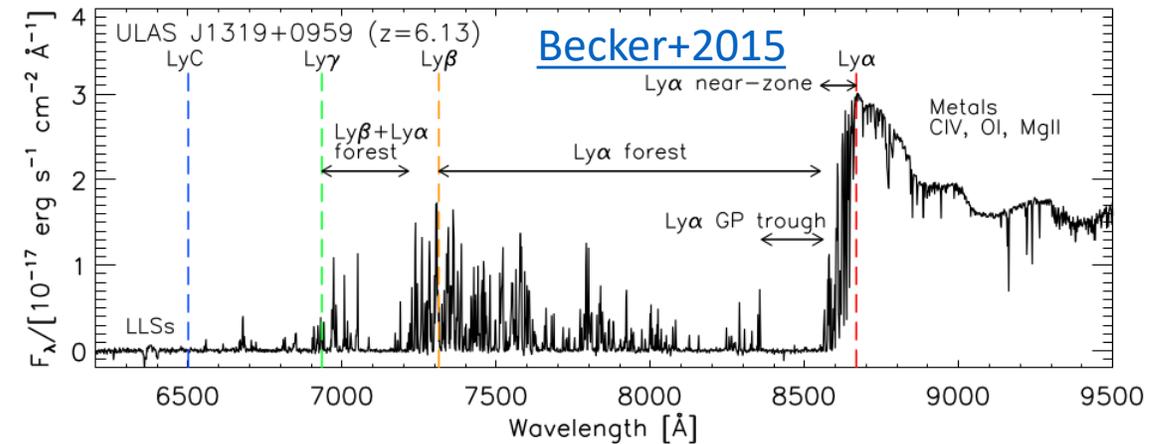




Era de Reionização



Exemplo de espectro absorvido por HI na linha de visada previsto por [Gunn & Peterson 1965](#)





Alguns tópicos estudados no 1º ano do JWST

(uma busca no ADS com títulos contendo JWST galaxy resultou em 120 artigos arbitrados em 2023-07-30)

- Galáxias na fronteira observacional ;
- A emissão no UV de galáxias com $z > 5$;
- Galáxias com grande opacidade devido à poeira, invisíveis no HST;
- Estruturas em larga escala em $z > 5$, algumas magnificadas gravitacionalmente;
- Morfologia de galáxias para $z < 7$;
- Galáxias passivas em $z \sim 3$ com muitas companheiras de pequena massa;
- Galáxias com populações estelares passivas a $z > 5$;
- Galáxias com abundâncias em metais próximas as do sol a $z=7$;
- Atividade nuclear em galáxias a $z > 8$;
- Aglomerados globulares em $z > 1$;
- Estrelas individuais a $z = 6$;
- Supernovas através de lentes gravitacionais;

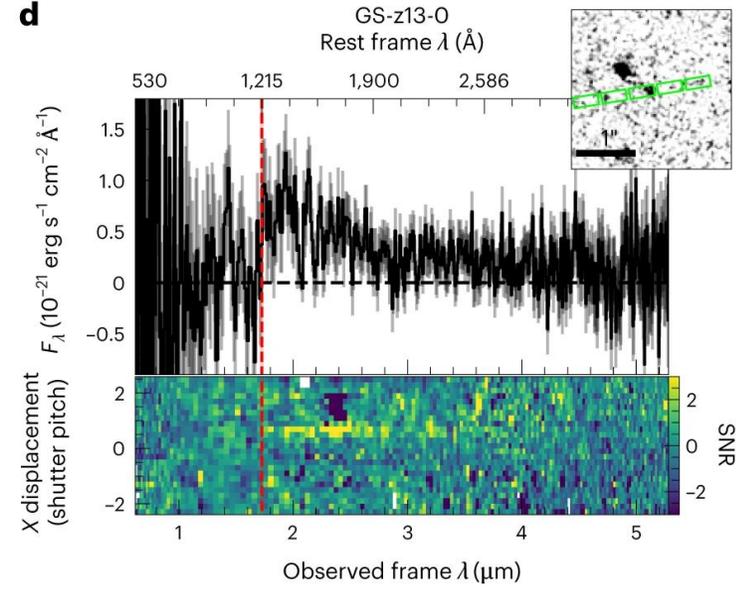
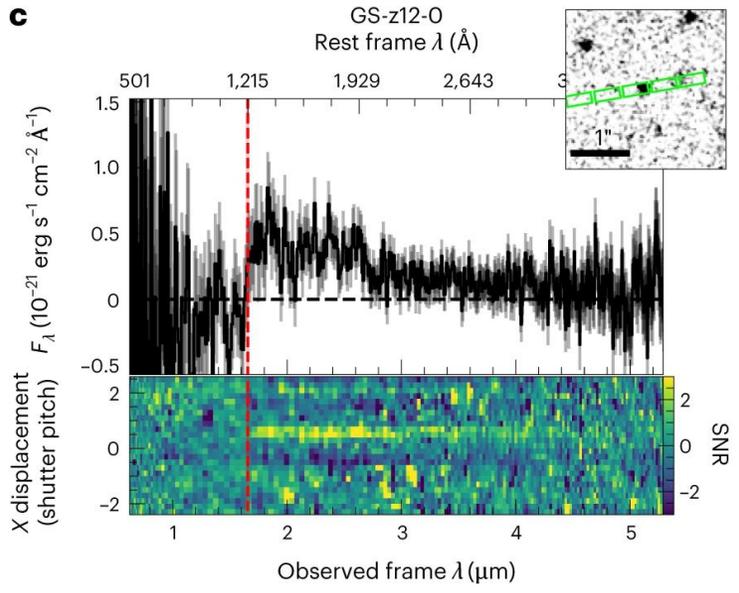
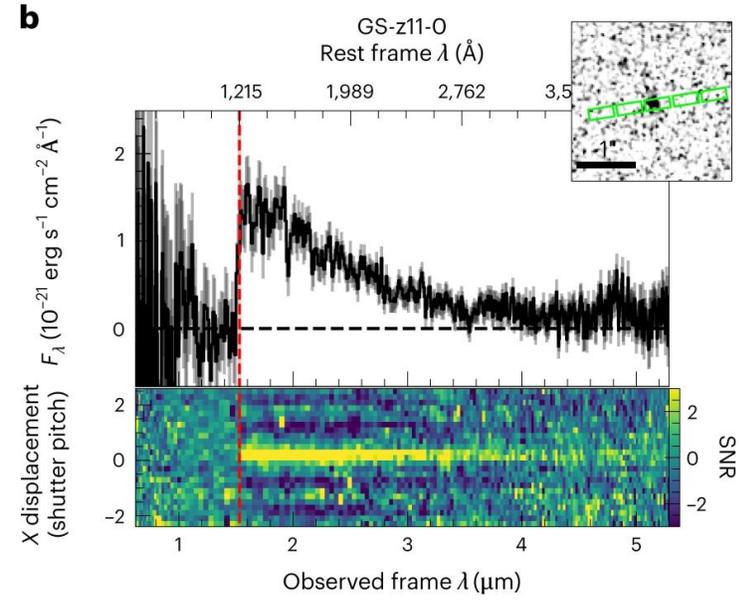
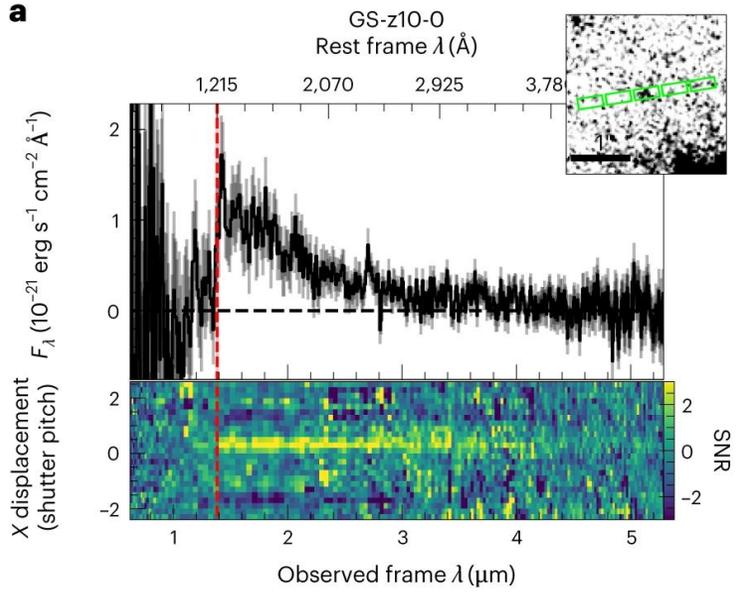




Galáxias na fronteira

- “Fronteira” devido a limitações tecnológicas e causas físicas.
- As 6 galáxias mais distantes [Curtis-Lake+ 2023](#) e [Robertson+ 2023](#), [Arrabal-Haro+ 2023](#), [Roberts-Borsani+ 2023](#) confirmadas espectroscopicamente se distribuem entre $9.8 < z < 13.2$.
- Todas tem pouca poeira, deficientes em metais, massas da ordem de 10^8 massas solares, e populações estelares jovens com idades < 100 milhões de anos (o Universo nesta época tinha ≈ 400 milhões de anos).
- Resultados sugerem um crescimento rápido de galáxias nos primórdios do Universo.





- Espectros e “3x4” das galáxias com $z > 10$.
[Curtis-Lake+ 2023](#)





GN-z11

- Galáxia mais distante descoberta pelo HST ([Bouwens+2010](#); [Oesch+2016](#))
- Observações espectroscópicas ([Bunker+ 2023](#)) e fotométricas ([Tacchella+ 2023](#)) confirmam um redshift de $z=10.6$

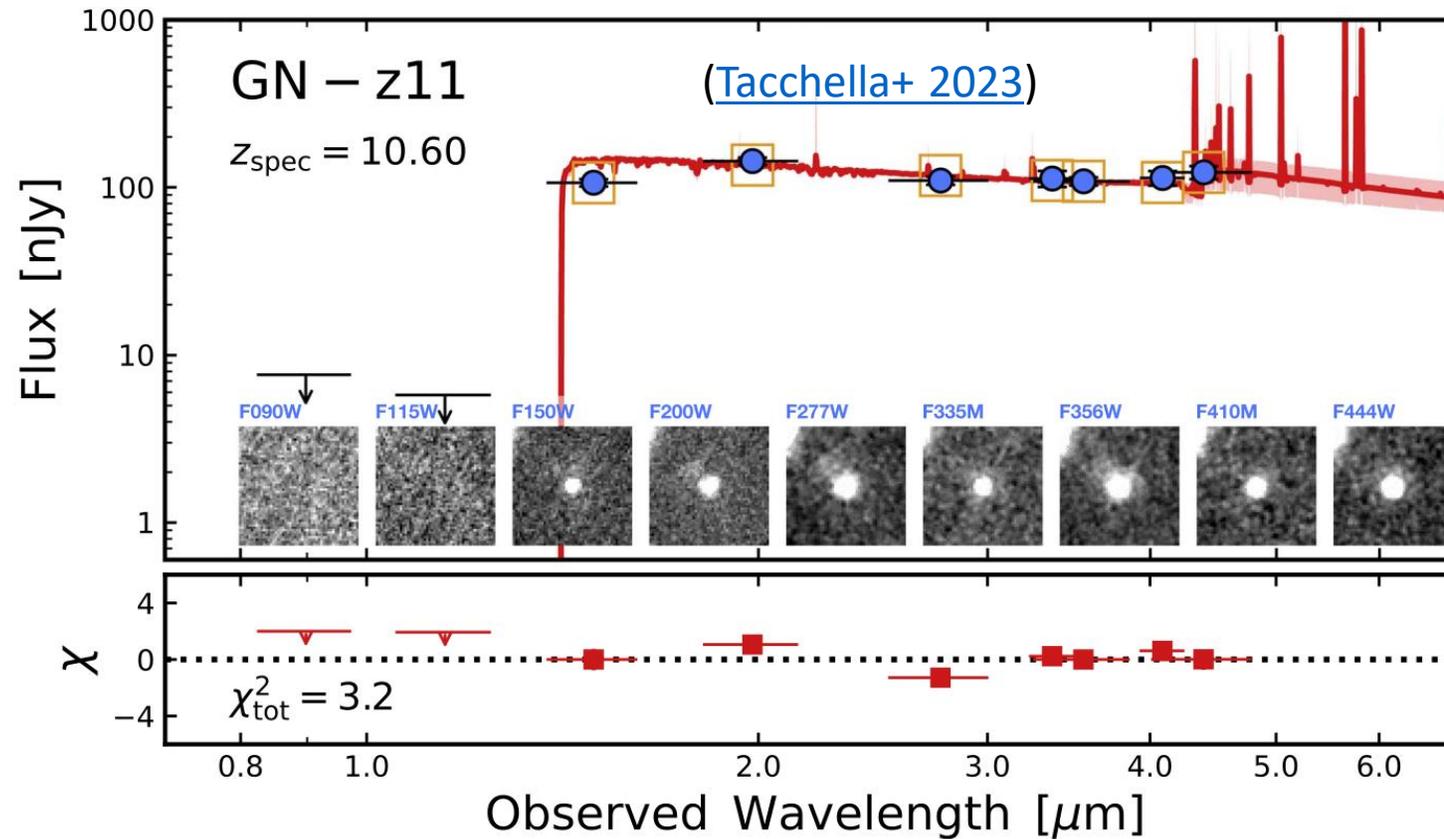




GN-z11: distribuição de energia espectral

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 952:74 (15pp), 2023 July 20

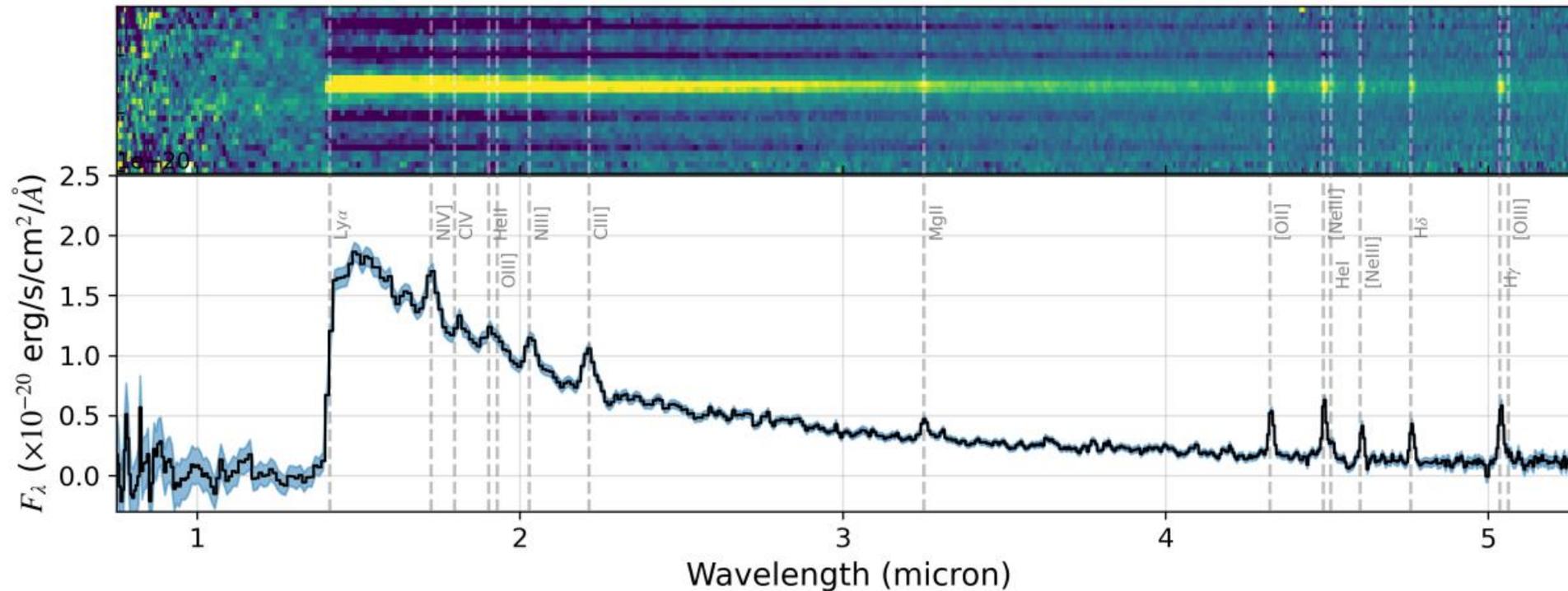
Tacchella et al.





GN-z11: Espectroscopia de baixa resolução

- linhas de emissão de diversos elementos além de hidrogenio (C, He, Mg, N, Ne, O) ([Bunker+ 2023](#))





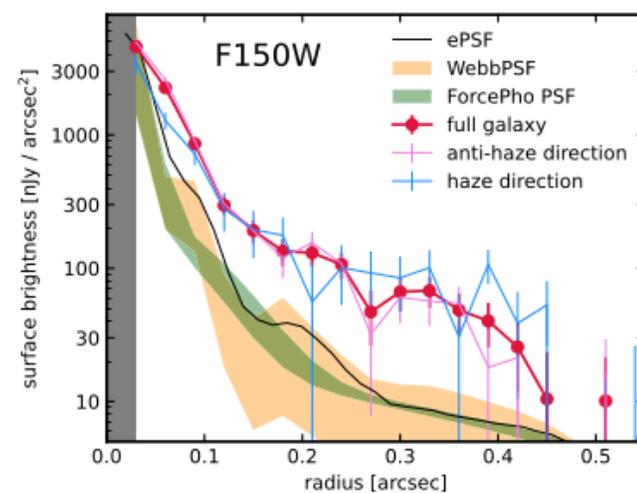
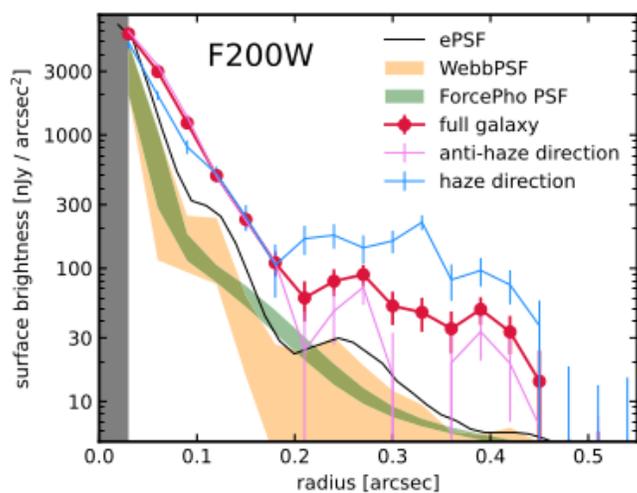
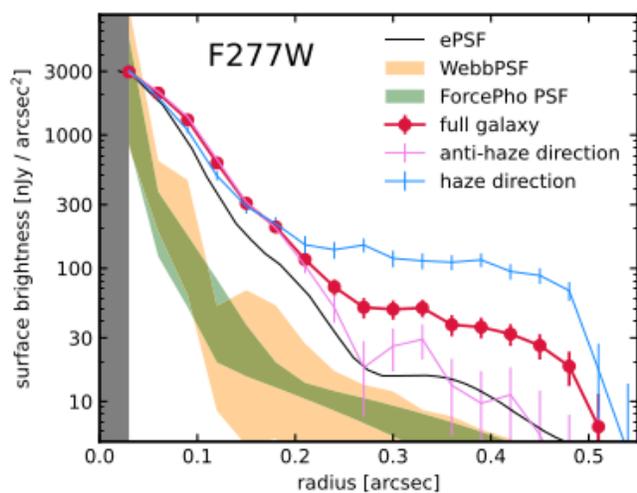
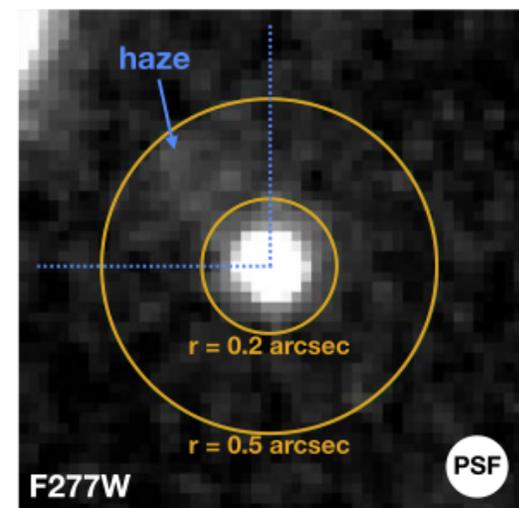
GN-z11

- Galáxia mais distante descoberta pelo HST ([Bouwens+2010](#); [Oesch+2016](#))
- Observações espectroscópicas ([Bunker+ 2023](#)) e fotométricas ([Tacchella+ 2023](#)) confirmam um redshift de $z=10.6$
- Possui uma distribuição luminosa compacta, com um *raio efetivo* de 200 pc (672 anos-luz), população estelar com idade média de 20 milhões de anos e massa de 10^9 massas solares.





GN-z11



Perfil fotométrico em diferentes filtros combinando diferentes componentes morfológicos.

[Tacchella+ 2023](#)

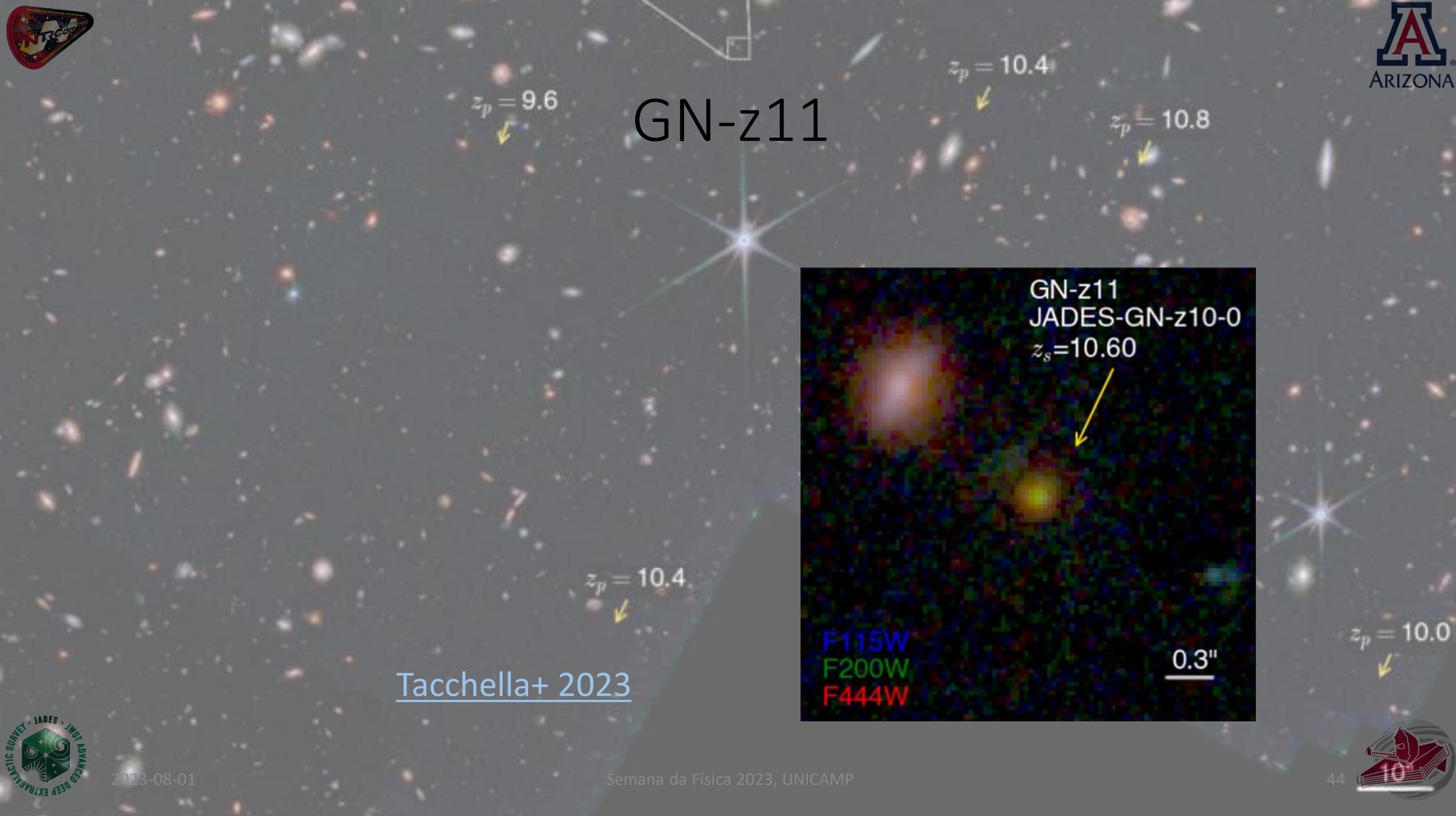




GN-z11

- Galáxia mais distante descoberta pelo HST ([Bouwens+2010](#); [Oesch+2016](#))
- Observações espectroscópicas ([Bunker+ 2023](#)) e fotométricas ([Tacchella+ 2023](#)) confirmam um redshift de $z=10.6$
- Possui uma distribuição luminosa compacta, com um *raio efetivo* de 200 pc (672 anos-luz), população estelar com idade média de 20 milhões de anos e massa de 10^9 massas solares.
- A proximidade de outras galáxias com $z \approx 10$ sugere que faz parte de um halo de matéria escura com $\approx 10^{10}$ massas solares. A distribuição da emissão de Lyman α demonstra que é parte de um halo de 0.8-3.2 kpc sugerindo que GN-z11 pode ser um proto-aglomerado ([Scholtz+ 2023](#))





GN-z11

$z_p = 9.6$

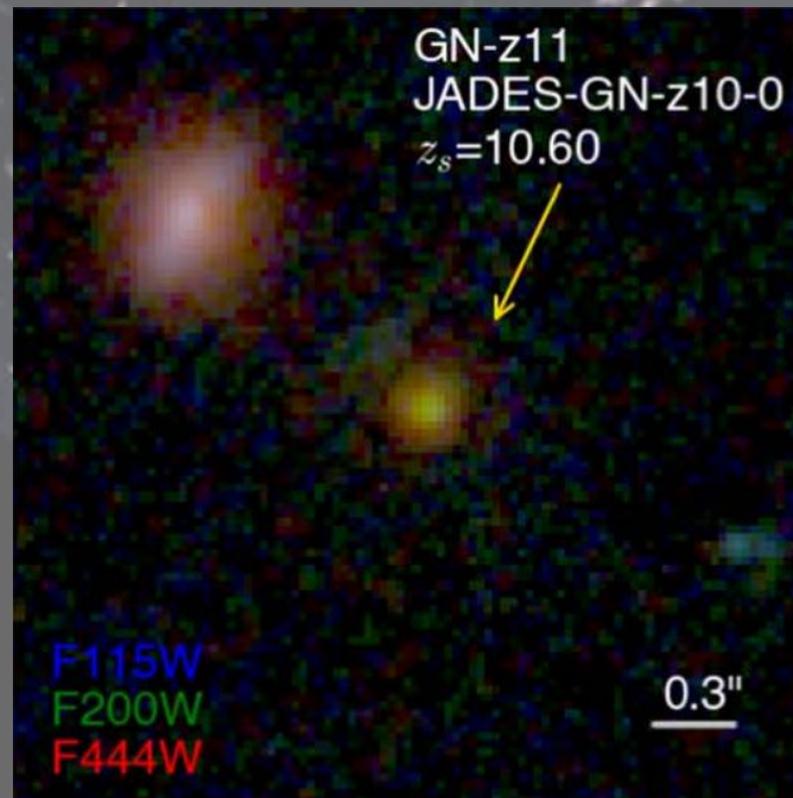
$z_p = 10.4$

$z_p = 10.8$

$z_p = 10.4$

$z_p = 10.0$

Tacchella+ 2023





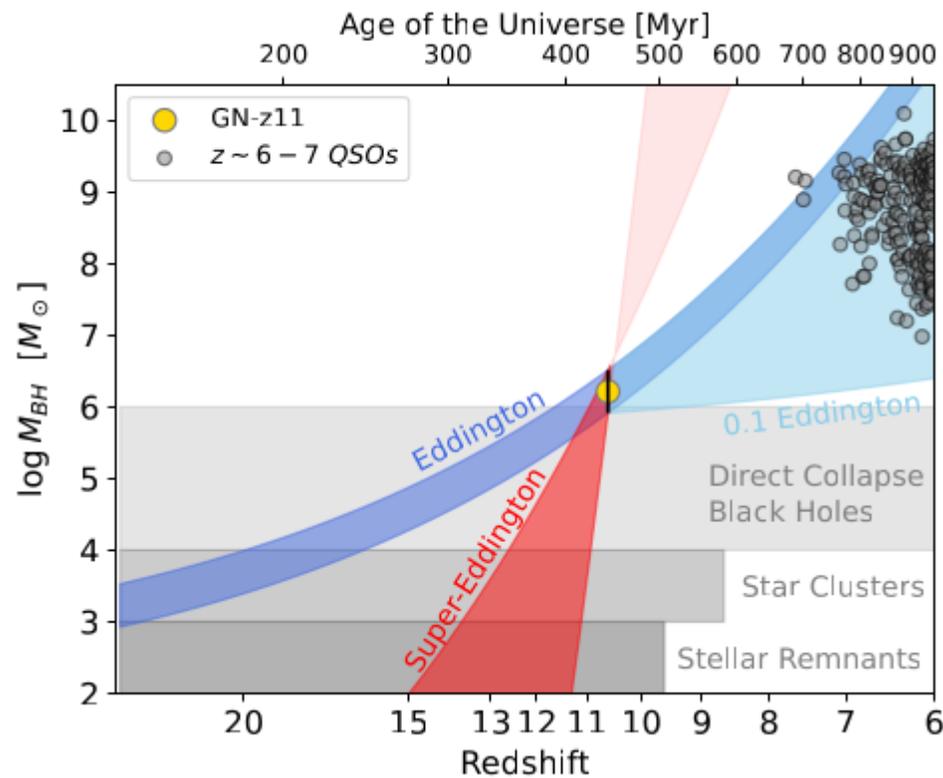
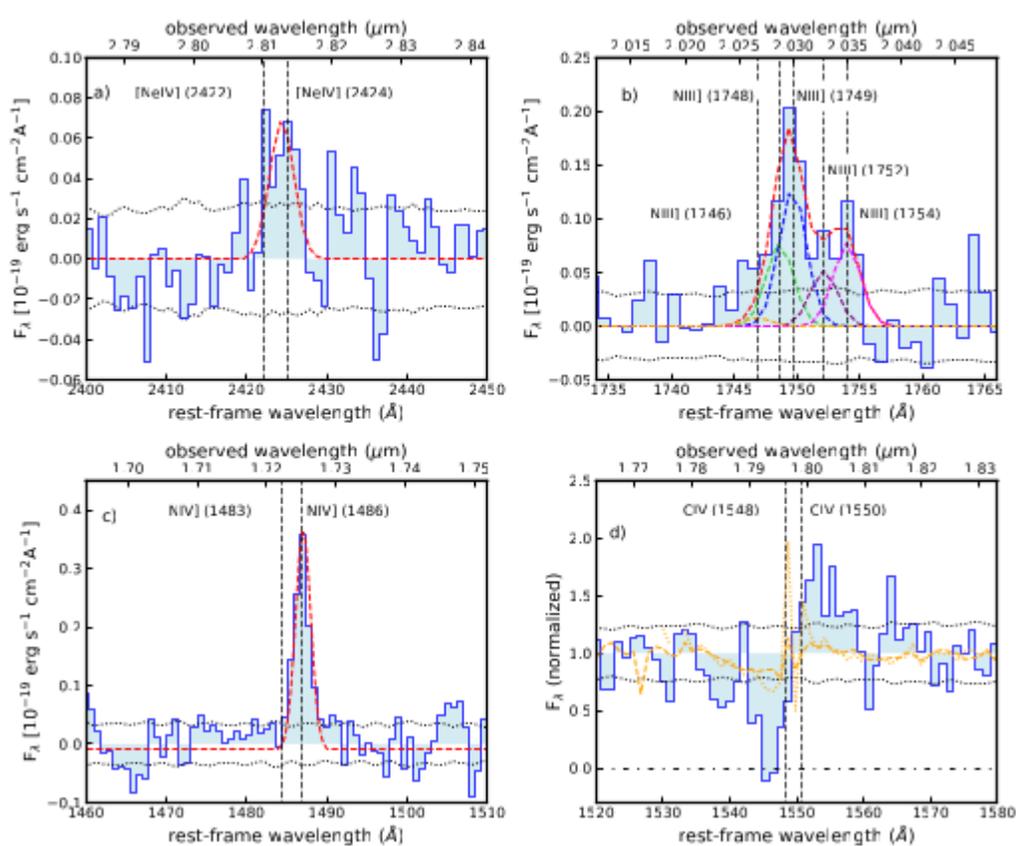
GN-z11

- Galáxia mais distante descoberta pelo HST ([Bouwens+2010](#); [Oesch+2016](#))
- Observações espectroscópicas ([Bunker+ 2023](#)) e fotométricas ([Tacchella+ 2023](#)) confirmam um redshift de $z=10.6$
- Possui uma distribuição luminosa compacta, com um *raio efetivo* de 200 pc (672 anos-luz), população estelar com idade média de 20 milhões de anos e massa de 10^9 massas solares.
- A proximidade de outras galáxias com $z \approx 10$ sugere que faz parte de um halo de matéria escura com $\approx 10^{10}$ massas solares. A distribuição da emissão de Lyman α demonstra que é parte de um halo de 0.8-3.2 kpc sugerindo que GN-z11 pode ser um proto-aglomerado ([Scholtz+ 2023](#))
- As propriedades de algumas linhas de emissão sugerem a presença de um núcleo ativo ([Maiolino+ 2023a](#)), contendo um buraco negro com $10^{6.2 \pm 0.3}$ massas solares.





GN-z11





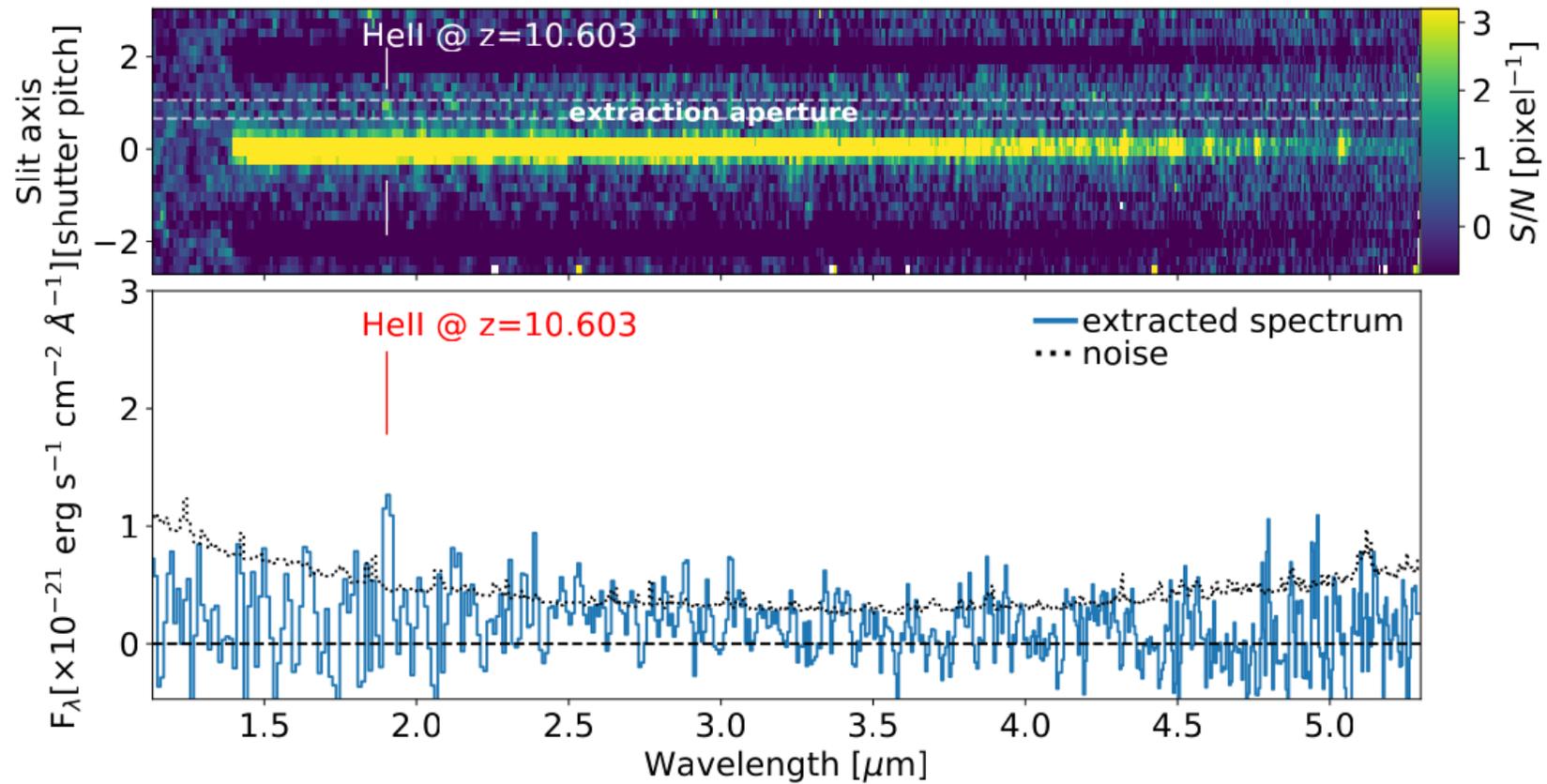
GN-z11

- Galáxia mais distante descoberta pelo HST ([Bouwens+2010](#); [Oesch+2016](#))
- Observações espectroscópicas ([Bunker+ 2023](#)) e fotométricas ([Tacchella+ 2023](#)) confirmam um redshift de $z=10.6$
- Possui uma distribuição luminosa compacta, com um *raio efetivo* de 200 pc (672 anos-luz), população estelar com idade média de 20 milhões de anos e massa de 10^9 massas solares.
- A proximidade de outras galáxias com $z \approx 10$ sugere que faz parte de um halo de matéria escura com $\approx 10^{10}$ massas solares. A distribuição da emissão de Lyman α demonstra que é parte de um halo de 0.8-3.2 kpc sugerindo que GN-z11 pode ser um proto-aglomerado ([Scholtz+ 2023](#))
- As propriedades de algumas linhas de emissão sugerem a presença de um núcleo ativo ([Maiolino+ 2023a](#)), contendo um buraco negro com $10^{6.2 \pm 0.3}$ massas solares.
- A detecção de emissão condizente com He II em $z=10.6$ ([Maiolino+ 2023b](#)) se deve à presença de estrelas de População III nesta galáxia.





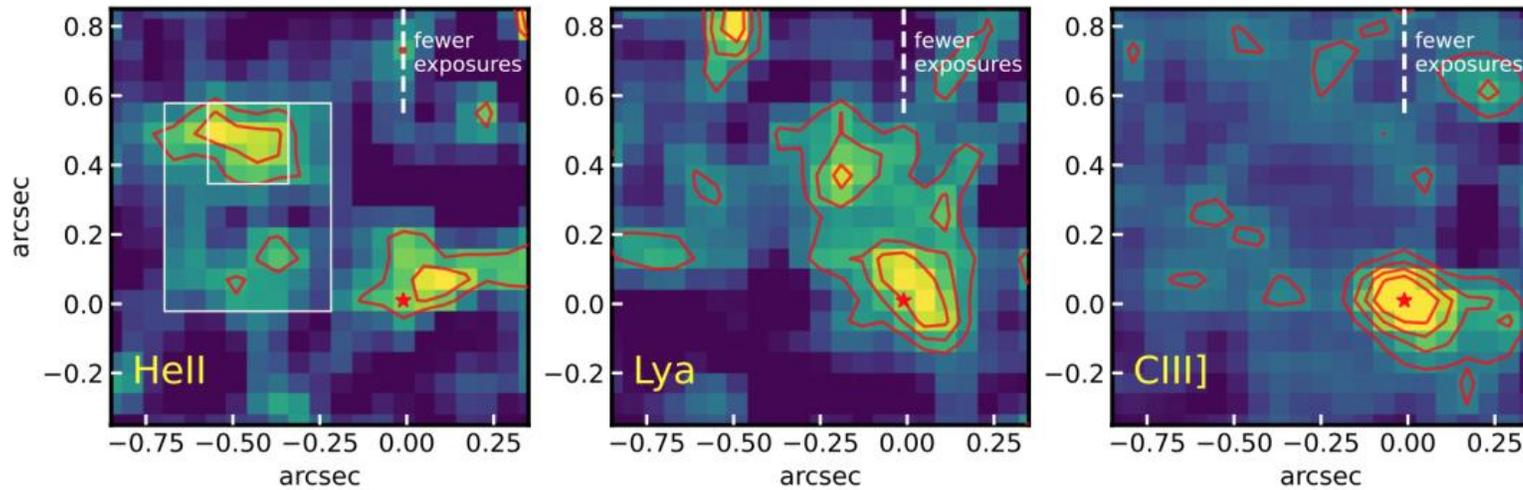
GN-z11 : HeII (1640Å)



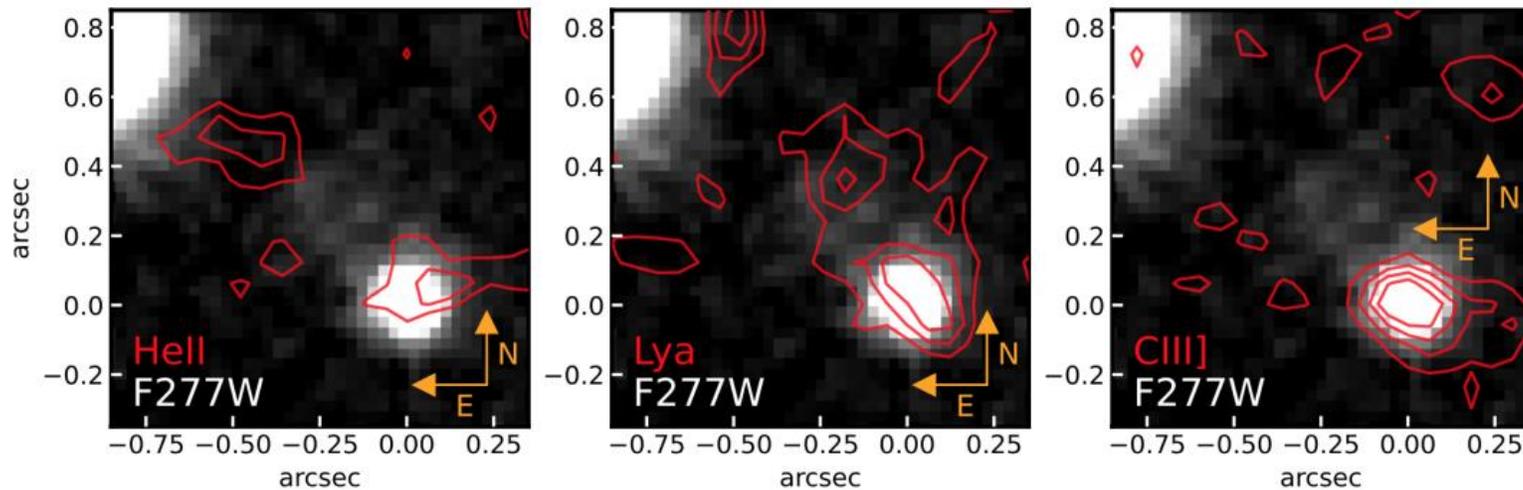


GN-z11: localização de regiões com linhas de emissão.

Dados IFU



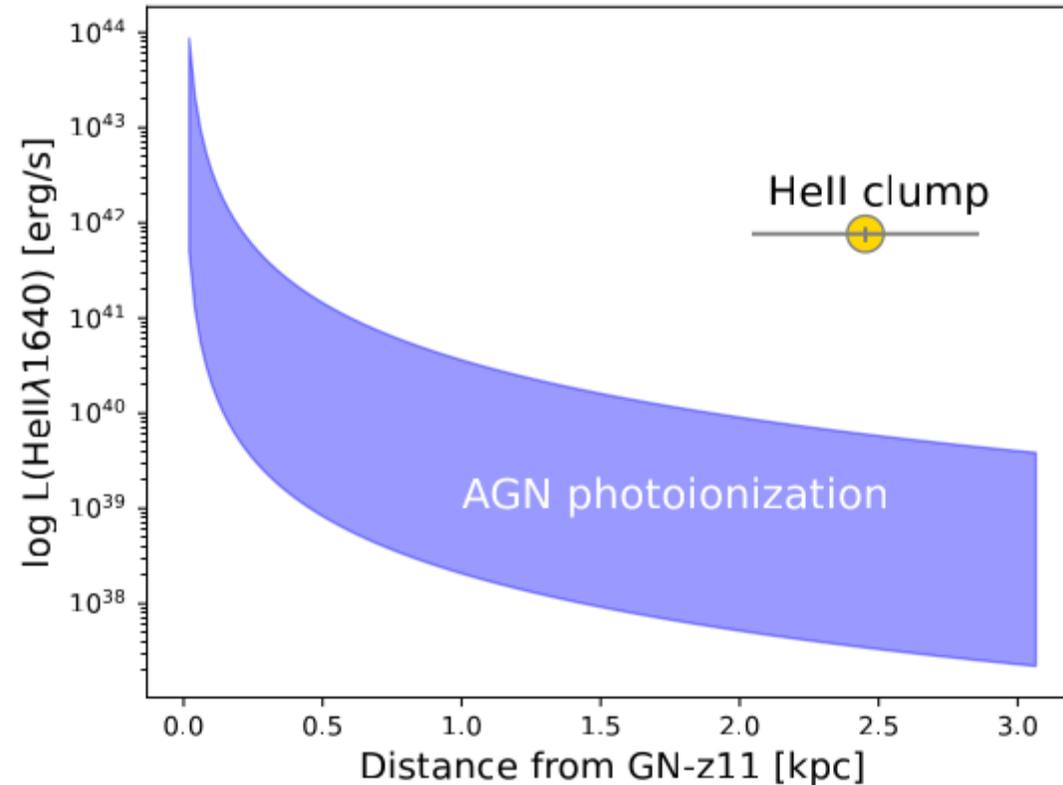
Imagens





GN-z11: Hell

- Intervalos de confiança combinando distancia e intensidade de emissão de um núcleo ativo caso fosse a fonte de emissão de hélio.
- Este resultado sugere que outra fonte de energia é necessária, podendo se dever a estrelas de População III





Emissão de galáxias no Ultra-Violeta

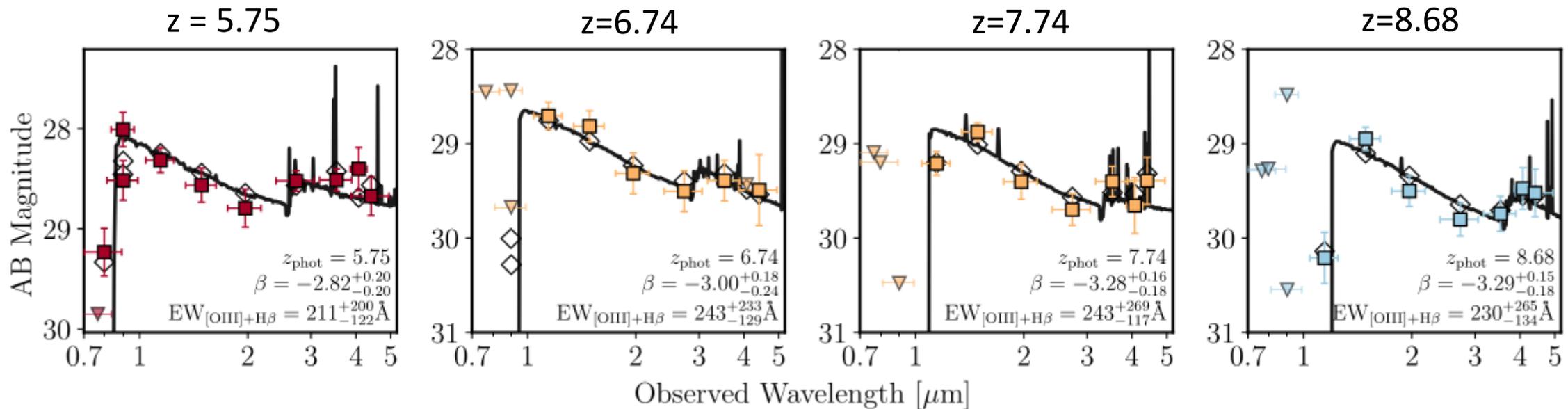
- Caracterizada pela inclinação do contínuo estelar entre $0.09 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 0.35 \mu\text{m}$.
- Permite estimar
 - A quantidade de estrelas jovens e massivas dos tipos espectrais O e B
 - Taxa de formação estelar recente
 - Função de Massa Inicial
 - Indiretamente mede a atenuação devido à poeira.
 - Estimar a idade média da componente estelar





Emissão de galáxias no Ultra-Violeta

- Medidas feitas por [Topping+ 2023](#) usando uma amostra de 1276 galáxias, das quais 179 a $z > 9$. Nesta amostra, as linhas de emissão não tem um efeito significativo na medida.



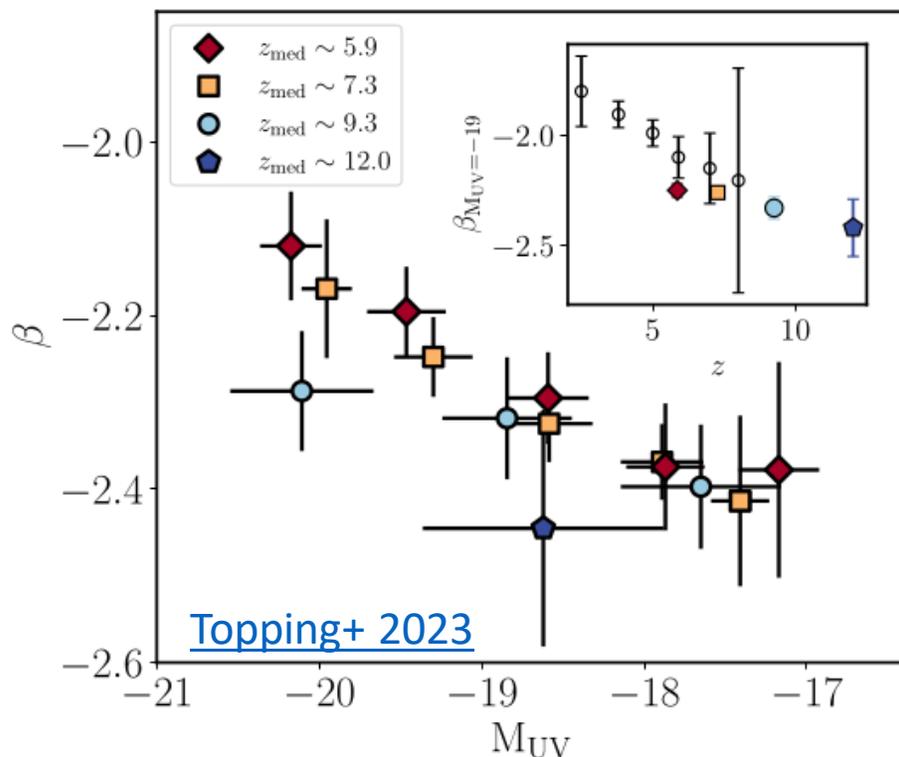
[Topping+ 2023](#)



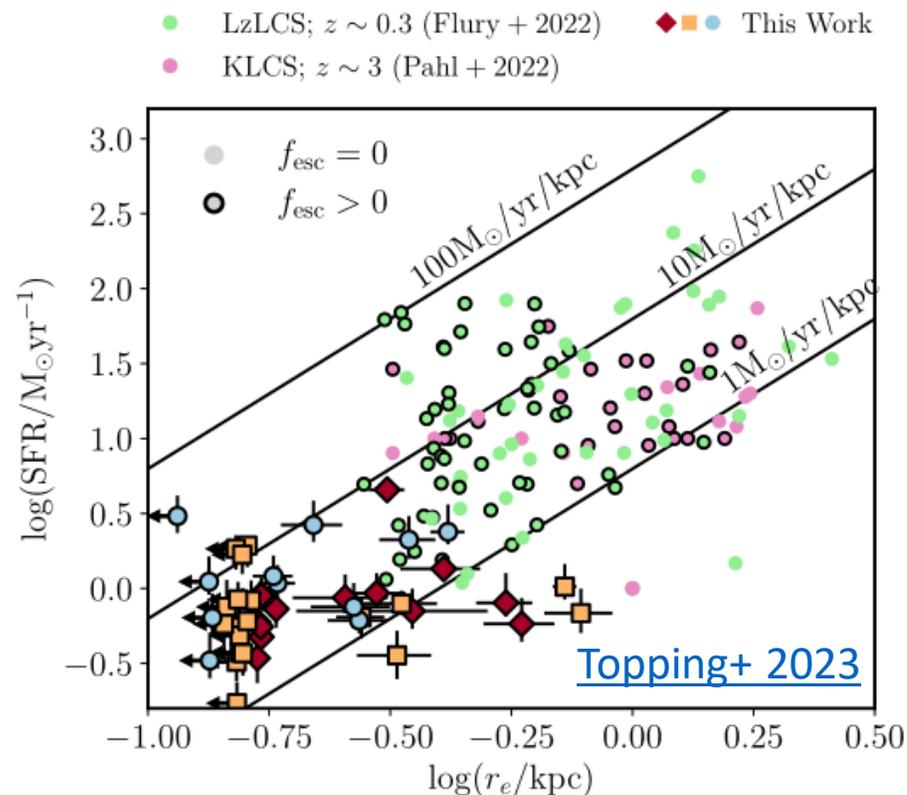


- Para uma luminosidade fixa, as galáxias se tornam mais azuis
- A fração de galáxias com inclinações mais negativas cresce com redshift
- A intensidade de linhas de emissão (estimada fotometricamente) é menor para as galáxias mais azuis, sugerindo que para estes objetos, a taxa de escape de fótons é maior.
- A preponderância de luz azul sugere pouca quantidade de poeira.





Distribuição da inclinação média do contínuo como função do brilho total no ultra-violeta. Esta inclinação se torna mais negativa para galáxias menos luminosas. O gráfico em cima à direita compara medidas para $M_{UV} = -19$ com valores publicados por [Bouwens+ 2014](#)



Distribuição de tamanho versus taxa de formação estelar. As galáxias com $z > 5$ são mais compactas que as amostras a $z \leq 3$.

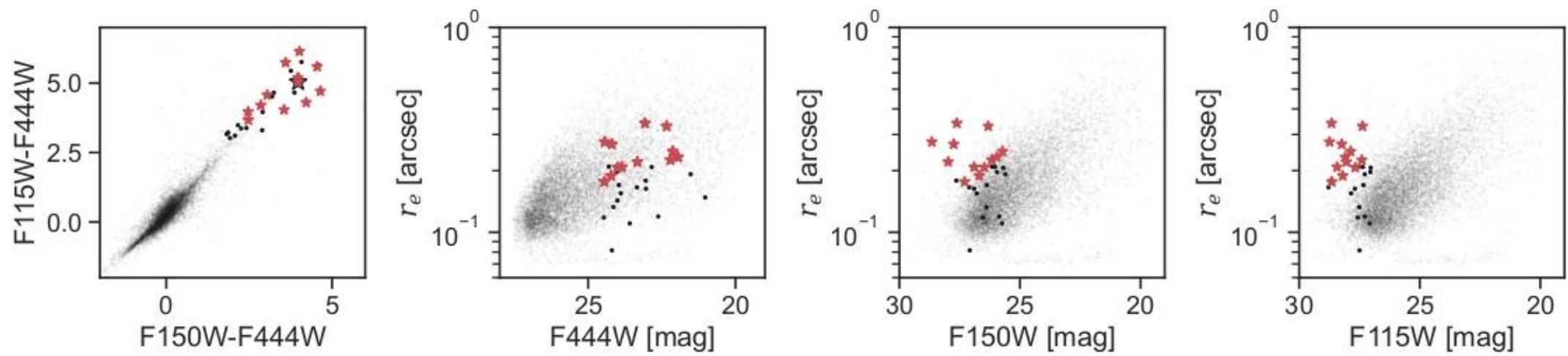




Galaxias “invisíveis” no HST

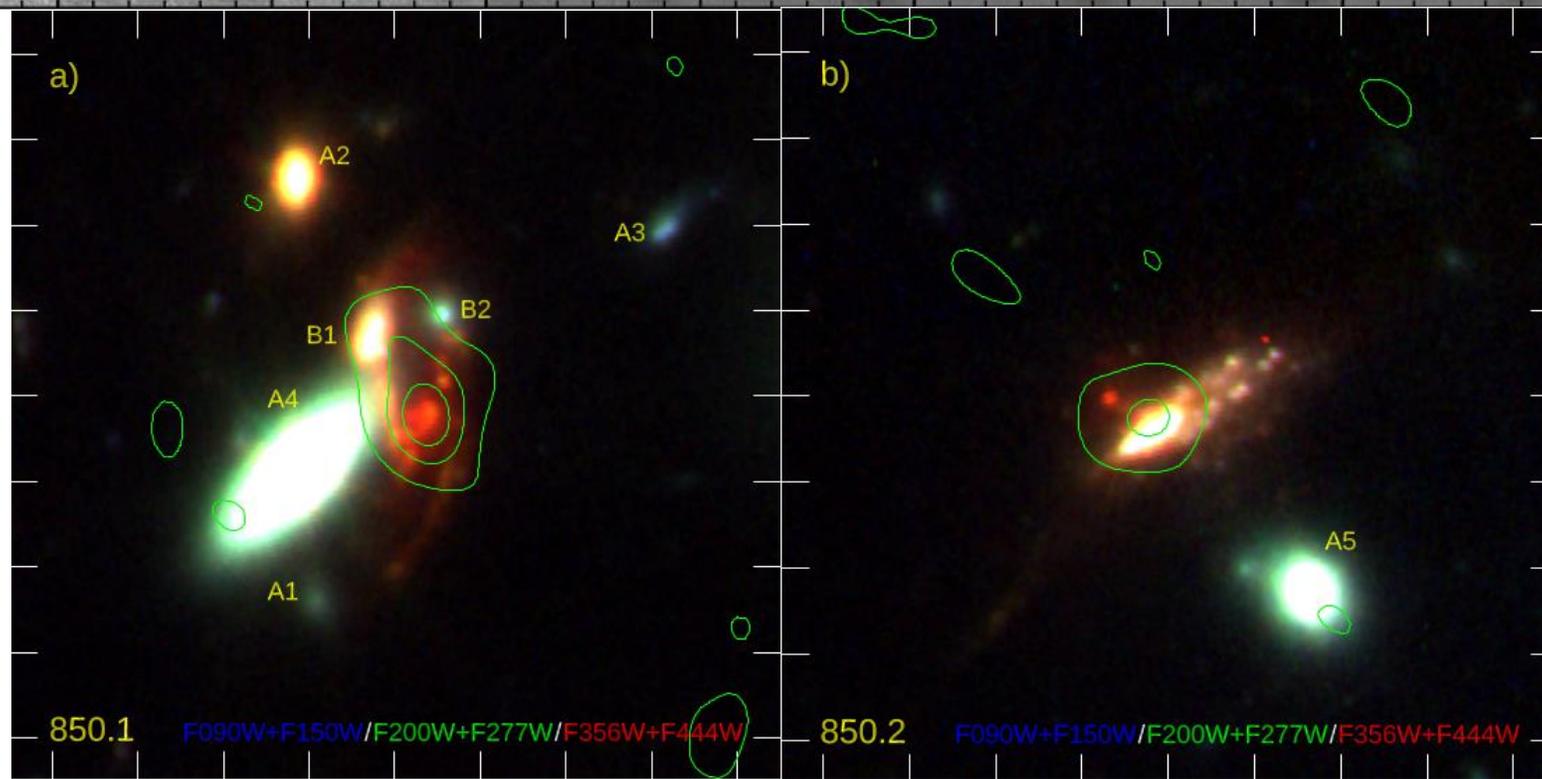
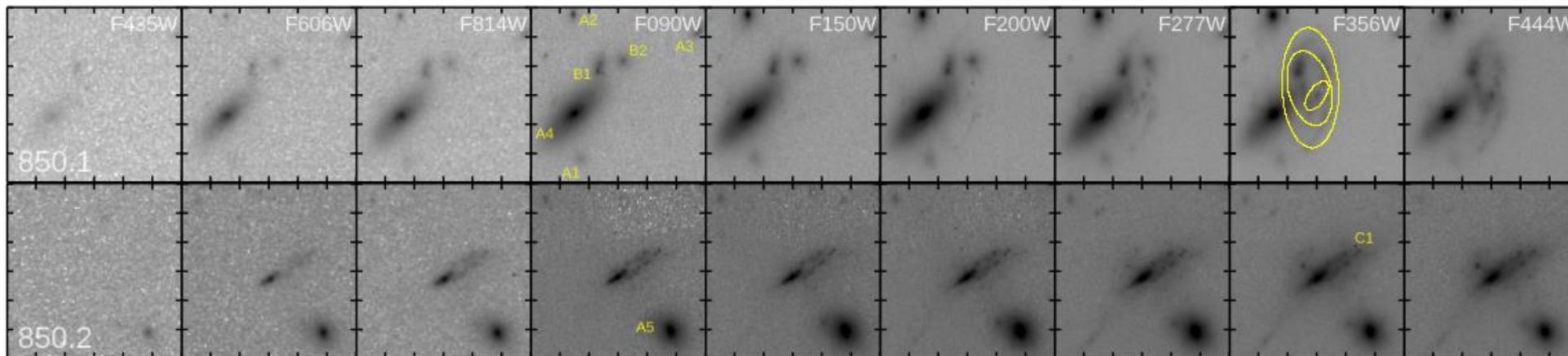
- A existência de objetos fora do alcance do HST já era esperado devido a objetos descobertos em onda sub-milimétricas.
- Devido ao pequeno fluxo em $\lambda < 2$ podem ser confundidas com objetos de $z > 10$ ([Zavala+ 2023](#); [Arrabal-Haro+ 2023](#)).
- Tem $2 \lesssim z \lesssim 6$.
- Ricas em poeira, e alta taxa de formação de estrelas ([Smail+ 2023](#)).
- Apresentam discos estabelecidos, com massas $> 10^{10}$ massas solares ([Nelson+ 2023](#), [Smail+ 2023](#)).
- Possíveis progenitoras de galaxias elípticas no universo local.





[Nelson+ 2023](#)





[Smail+ 2023](#)

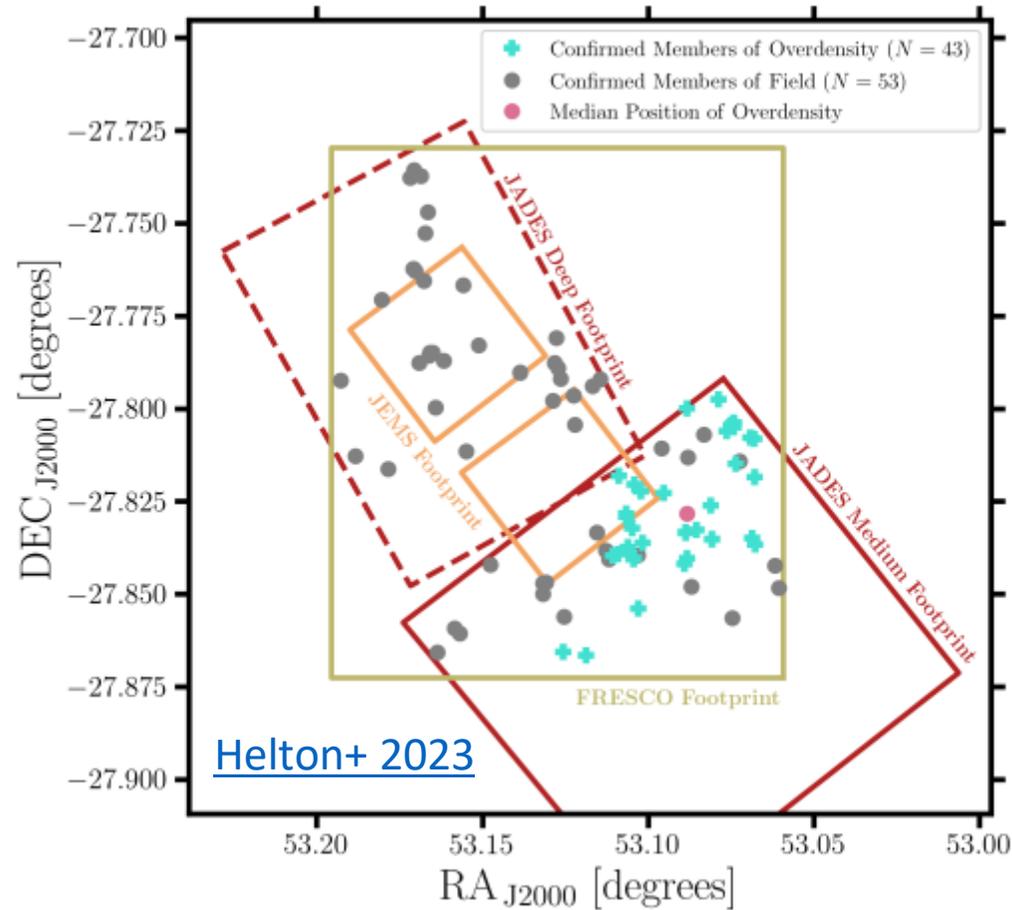
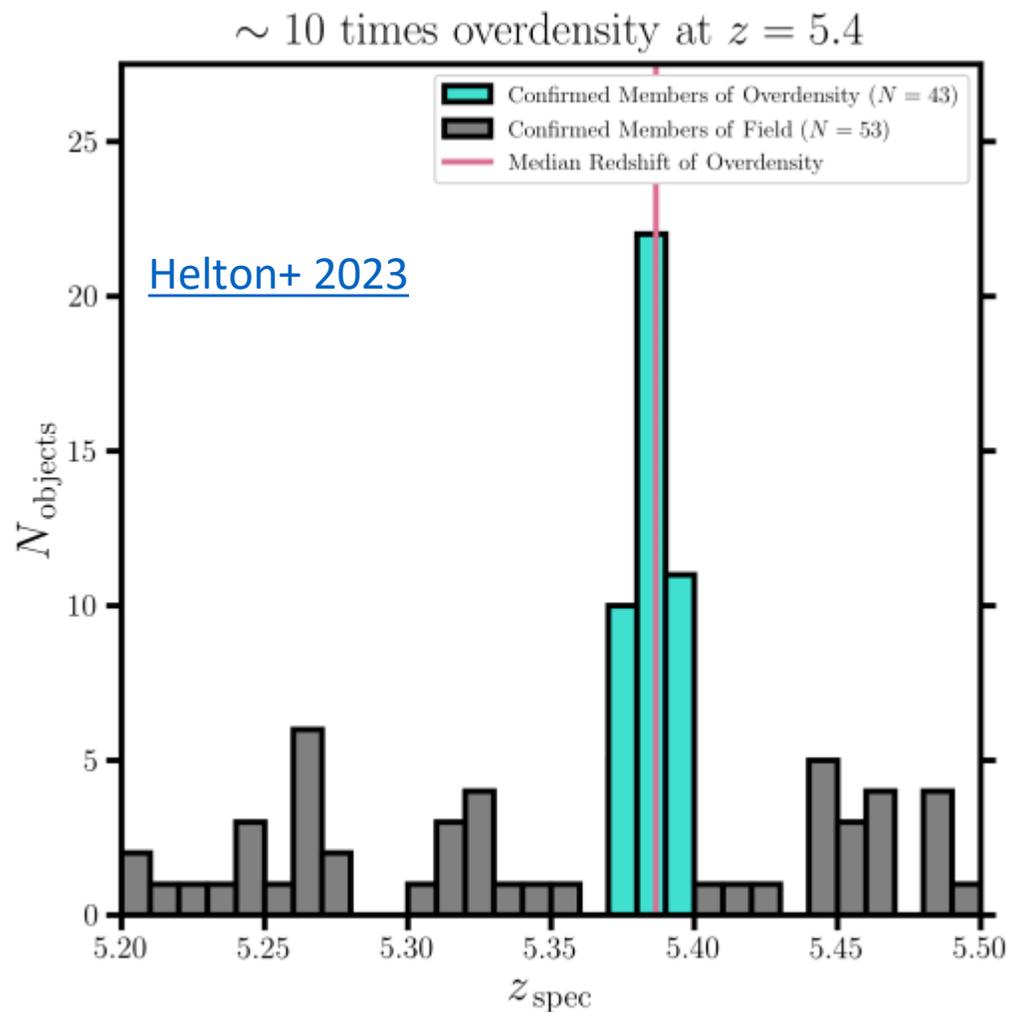




Estruturas em grande escala

- Sabemos que a distribuição de galáxias no presente resulta de pequenas flutuações no Radiação Cósmica de Fundo.
- No universo próximo as maiores estruturas gravitacionalmente conectadas são os aglomerados de galáxias.
- Os aglomerados mais distantes estudados com o HST estão a $z \leq 2$.
- Observações com JWST permitiram identificar estruturas coerentes para $z > 5$ ([Helton+ 2023](#); [Kashino+ 2023](#); [Hashimoto+ 2023](#)).



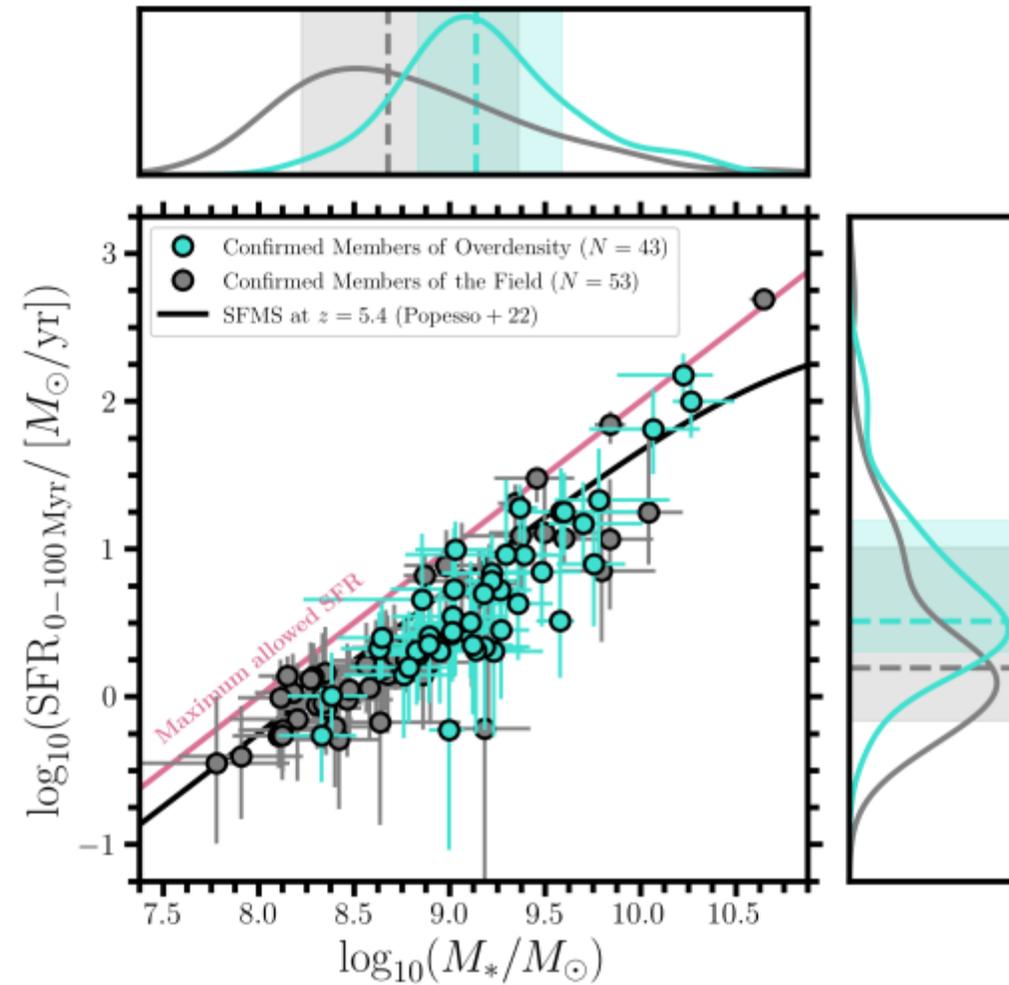


Utilizando os dados espectroscópicos dos projetos JADES e FRESCO, [Helton+ 2023](#) descobriram uma Concentração de galáxias no espaço quase-3D de coordenadas projetadas no céu e redshift





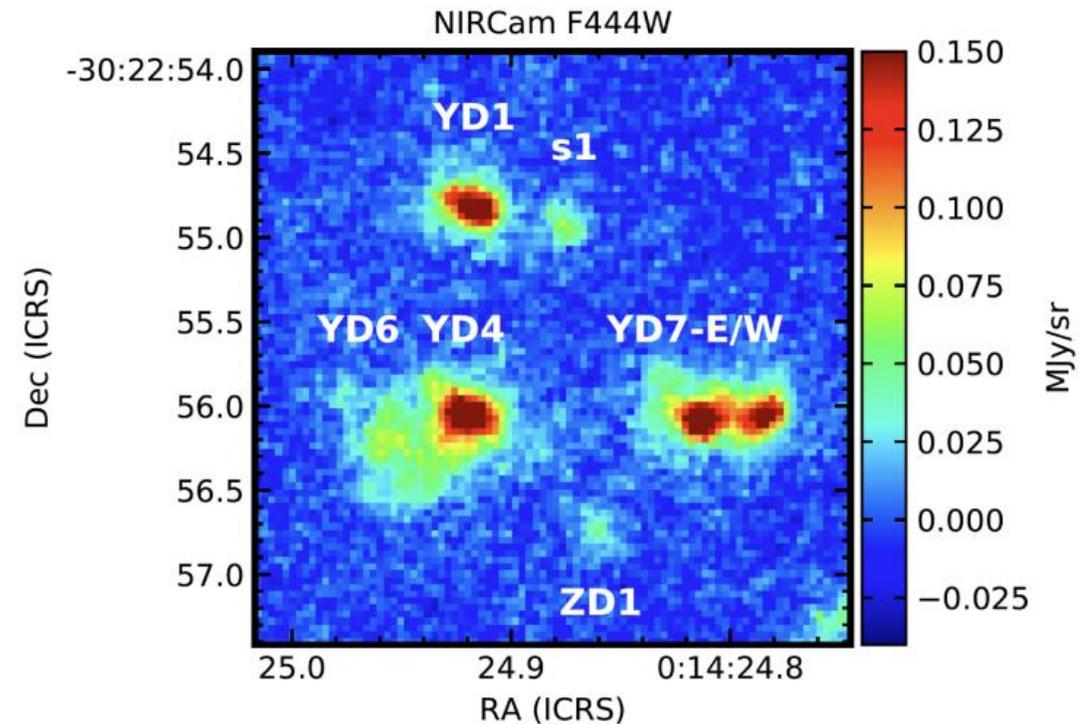
- [Helton+ 2023](#) mostram que galáxias formando esta potencial aglomeração tem propriedades diferentes de galáxias de campo.
 - Massas estelares maiores
 - Taxa de formação estelar mais alta.
- Resultados sugerem que o meio-ambiente favorece a formação de estrelas e acúmulo de matéria em regiões mais densas.





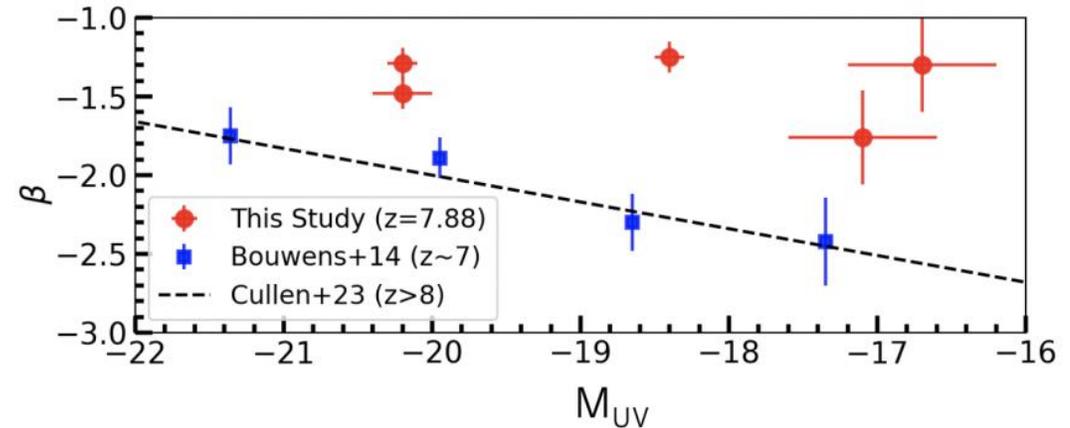
Um proto-aglomerado em $z=7.9$

- Identificado por [Hashimoto+ 2023](#) no campo do aglomerado A2744.
- Observações com IFU identificam 8 galáxias com $7.8733 \leq z \leq 7.8790$, uma diferença de 152 km/s





- Observações sub-milimétricas mostram a presença de poeira com valores semelhantes aos medidos no universo local
- A presença de poeira é também inferida a pela inclinação do UV.
- Modelos cosmológicos que descrevem as propriedades observadas preveem que este evoluirá para aglomerado de $\approx 10^9$ massas solares no universo atual.



[Hashimoto+ 2023](#)



- Este apanhado de resultados dá uma ideia da quantidade de novos resultados obtidos neste ano.
- Todos permitirão avançar a modelagem de galáxias e a sua evolução.





Alguns recursos adicionais

- [Projeto JADES](#) ; [Visualizador de dados públicos do JADES](#)
- [Projeto CEERS](#)
- [Projeto PEARLS](#)
- [Banco de dados reduzidos no DAWN Institute](#) (também tem um visualizador de dados)
- [Blog do JWST](#)
- [Documentação do JWST](#) (instrumentos, modos de observação etc.)
- [Agencia Espacial Europeia](#)





Resumo

- Os resultados vindos do JWST têm uma mistura do esperado e algumas surpresas.
- As galáxias com $z > 10$ com espectroscopia mostram ausência de metais e populações estelares jovens.
- As observações da galáxia GN-z11, o objeto mais brilhante detectado em $z > 9$ sugerem a presença de um núcleo ativo, uma galáxia hospedeira com massa da ordem de 10^8 massas solares situada em uma região com densidade alta de galáxias. Na sua vizinhança se encontra uma região cuja emissão de $\lambda = 1640 \text{ \AA}$ possivelmente ionizada por estrelas de População III.
- Já em $z \approx 8$ se encontram proto-aglomerados.
- A possibilidade aberta pelo JWST de medir vários espectros simultaneamente permitiu detectar pela primeira vez estruturas coerentes de galáxias com $z > 5$





Muito obrigado !

Este trabalho tem o suporte pelo contrato JWST/NIRCam NAS5-02015 da NASA para a Universidade do Arizona





Transparencias suplementares



2023-08-01

Semana da Física 2023, UNICAMP

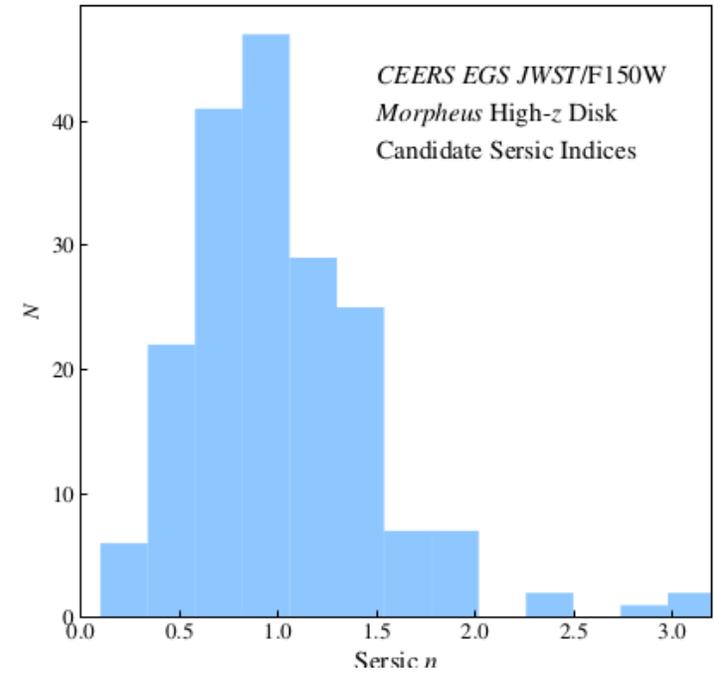
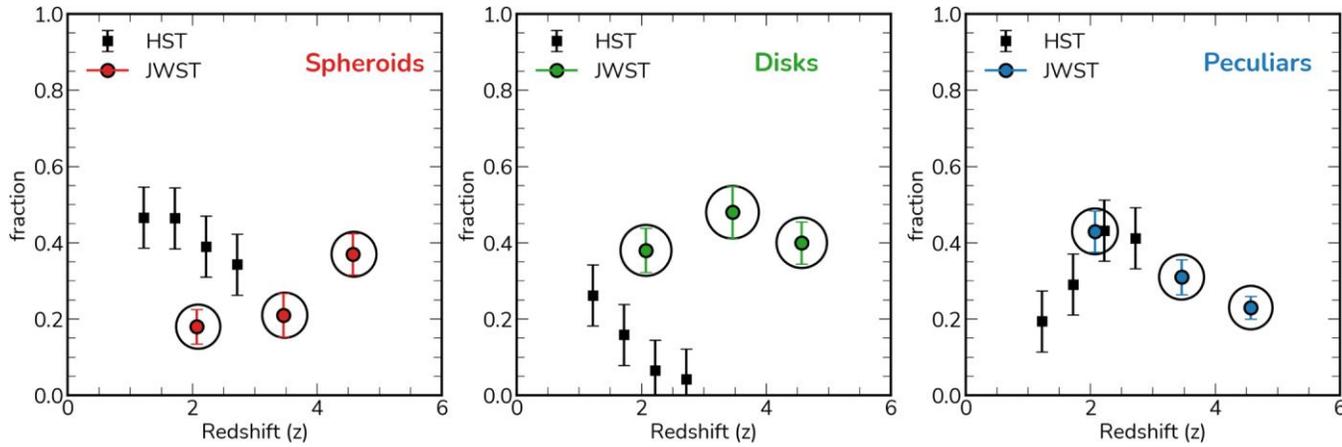


68

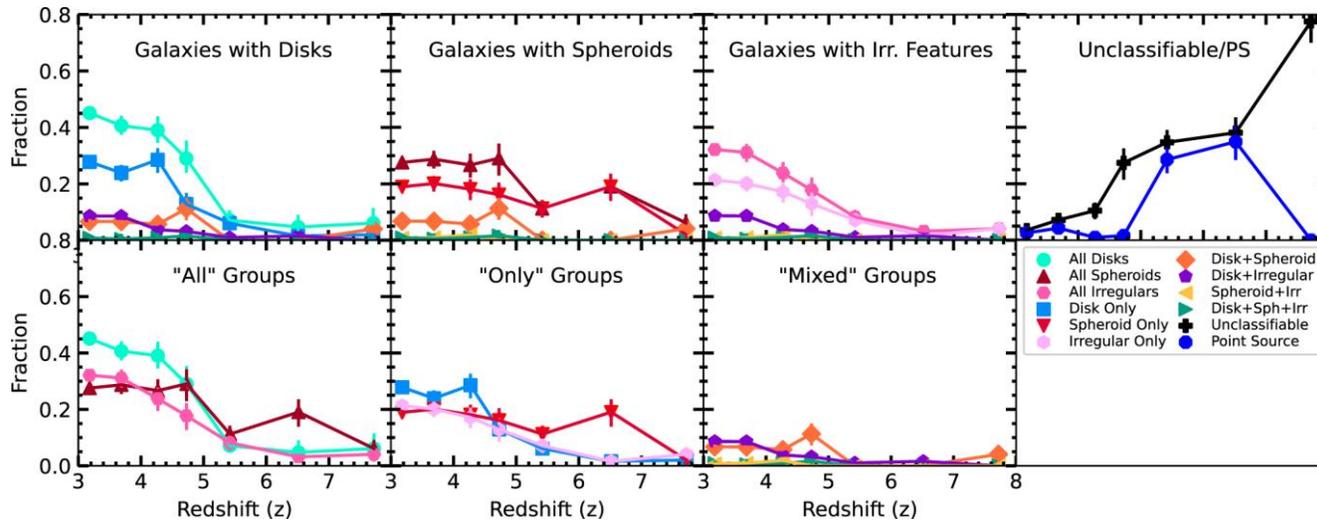


Morfologia

Ferreira+ 2022



Robertson+ 2023



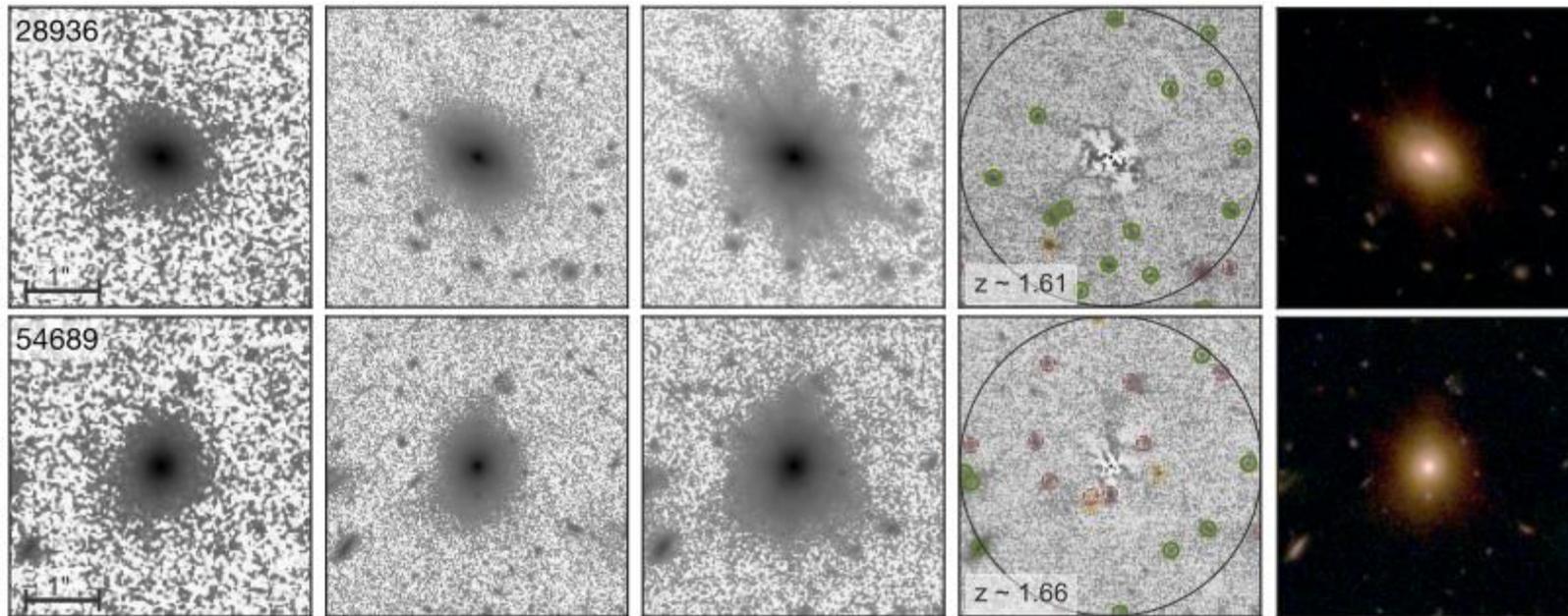
Kartalpe+ 2023





Galaxias massivas com companheiras

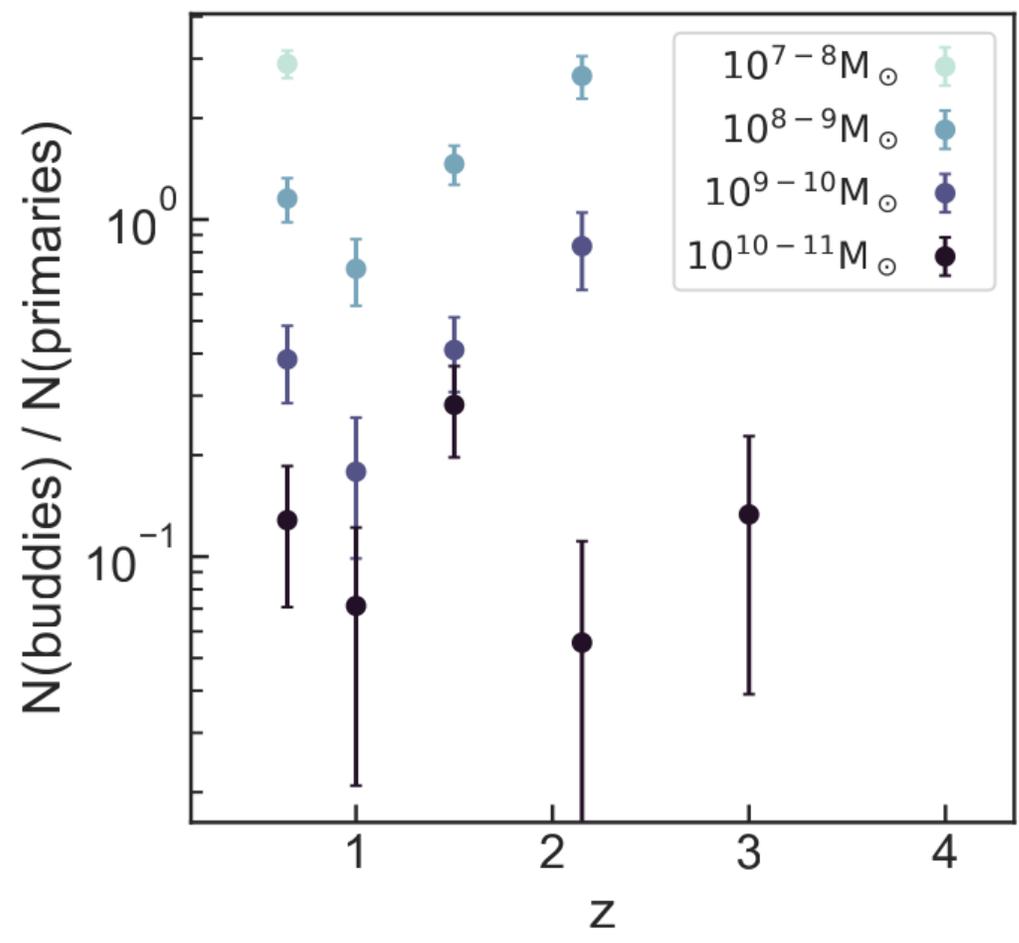
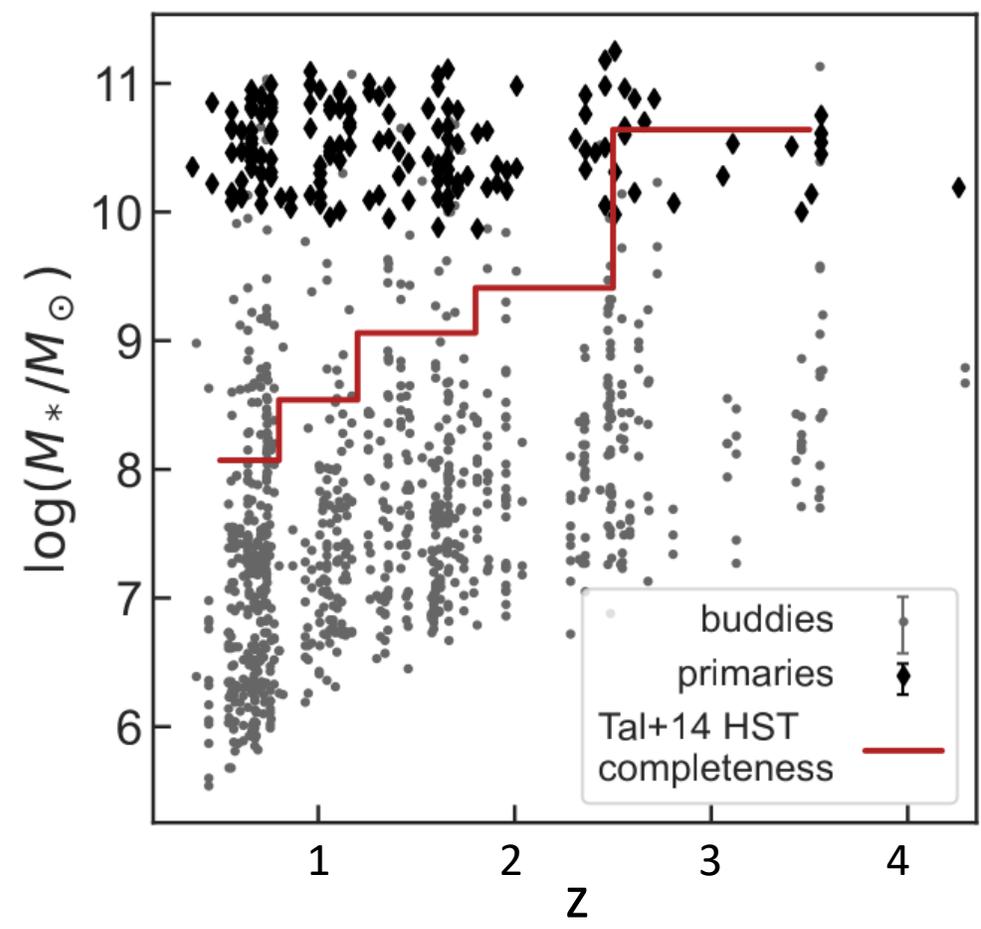
(crescimento de galáxias elípticas, particularmente em aglomerados)



Suess+ 2023



Galaxies "primaries"



[Suess+ 2023](#)





Topicos (incompleto)

- Meio ambiente
 - Estruturas em larga Escala (Sun+2022; Hashimoto+2023, Helton+2023)
 - Abundancia de galaxias vizinhas de pequena massa ([Suess+2023](#); Whitler+2023)
- Propriedades de galáxias
 - Morfologia (Kartalpe+202x, Ferreira+2022, Robertson+2022, Huertas-Company+2023, Treu+2-23)
 - Massas (Santini+2023)
 - Inclinação da distribuição de energia spectral no UV (Trinca+2023, Endsley+2023, Topping+2023, Fergus+2023)
 - Galaxias dominadas por poeira (Nelson+2022, Cheng+2022, Smail+2023, Zavala+2023)
 - Metalicidade de galaxias (Tacchella+2023, Brinchmann 2023)
- Propriedades da distribuição de galaxias
 - Numero de galaxias a $z > 5$ (
 - Função de luminosidade de galaxias





- Galaxias com núcleos ativos

- [Larson+ 2023](#), [Juodžbalis+ 2023](#), [Labbé+ 2023](#), [Matthee+ 2023](#), [Yang+ 2023](#), [Furtak+ 2023](#)

- Função de luminosidade

- [Adams+ 2023](#), [Donnan+ 2023](#), [Harikane+ 2023a](#), [Harikane+ 2023b](#), [McLoed+ 2023](#), [Leung+ 2023](#)





O que aprendemos com o JWST em 13 meses

- Vários projetos se concentraram em caracterizar as propriedades de galáxias a $z > 5$ durante o 1º ano de observações (esta lista não é completa)
 - [CEERS](#) ([Finkelstein+2022](#); [Bagley+ 2023](#))
 - [EIGER](#) ([Kashino+ 2023](#))
 - [ERO](#) ([Pontoppidan+ 2022](#))
 - [FRESCO](#) ([Oesch+2023](#))
 - [GLASS-JWST](#) ([Treu+2022](#))
 - [JADES](#) ([Eisenstein+2023](#); [Rieke+ 2023](#))
 - [JEMS](#) ([Williams+ 2023](#))
 - NGDEEP ([Bagley+ 2023](#))
 - [PEARLS](#) ([Windhorst+2023](#))
 - [PRIMER](#)
 - [UNCOVER](#) ([Bezanson+ 2022](#))





Observatorios

- Nos últimos 120 anos houve vários enormes saltos qualitativos e quantitativos nas observações astronômicas:
 - placas fotográficas (final do Século XIX, início de Século XX)
 - Construção de telescópios em locais com melhor qualidade de imagens
 - Construção de telescópios usando placas fotográficas cobrindo áreas grandes do céu
 - Desenvolvimento de rádio-telescópios
 - Desenvolvimento de detectores de estado sólido, muito mais sensíveis e produzindo dados já digitalizados
 - Lançamento de satélites desenvolvidos especificamente para observações astronômicas
 - Desenvolvimento de detectores sensíveis a comprimentos de onda indo de raios-gama até ondas de rádio.

