

CURSO DE COSMOLOGIA

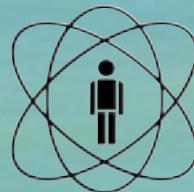
2013B

PARTE I

AULA 8

MARTÍN MAKLER
CBPF

ICRA



CBPF

MCTI



PROJETOS OBSERVACIONAIS EM ANDAMENTO NO CBPF

MCTI



Observáveis da Energia Escura

- Os projetos atuais com foco na energia escura se concentram em 4 observáveis (além da RCF):
 - Abundância de aglomerados de galáxias
 - Estrutura em Grande Escala (oscilações acústicas de bárions)
 - Lenteamento gravitacional fraco (tomografia cósmica)
 - Supernovas
- Técnica fundamental para os levantamentos de imagens:
 - Desvios para o vermelho fotométricos

Projetos Observacionais e Instrumentos

Projetos Observacionais e Instrumentos

- A maior parte dos projetos atuais e futuros em cosmologia observational consiste de:
 - Imageamento em grandes áreas (DES, HSC, LSST)
 - Espectroscopia em grandes áreas (BOSS/ eBOSS, MS-DESI)
 - Medidas da radiação cósmica de fundo (Planck, SPT, ACT)
 - Busca de supernovas

Projetos Observacionais e Instrumentos

- A maior parte dos projetos atuais e futuros em cosmologia observational consiste de:
 - Imageamento em grandes áreas (DES, HSC, LSST)
 - Espectroscopia em grandes áreas (BOSS/ eBOSS, MS-DESI)
 - Medidas da radiação cósmica de fundo (Planck, SPT, ACT)
 - Busca de supernovas
- Futuro: linha de 21cm (SKA)

Projetos Observacionais e Instrumentos

- A maior parte dos projetos atuais e futuros em cosmologia observational consiste de:
 - Imageamento em grandes áreas (DES, HSC, LSST)
 - Espectroscopia em grandes áreas (BOSS/ eBOSS, MS-DESI)
 - Medidas da radiação cósmica de fundo (Planck, SPT, ACT)
 - Busca de supernovas
- Futuro: linha de 21cm (SKA)
- Alternativas: desvio temporal de lentes

SOGRAS

- SOAR GRavitational Arc Survey
- 47 aglomerados selecionados com o SDSS S82 coadd em $z \sim 0.3$ e $z \sim 0.5$, observados com SOAR nos filtros g, r, i até mag ~ 23 com seeing $< 1''$ (semestres 2008B e 2010B)
- descoberta de 6 sistemas com candidatos a arco
- follow-up de 4 sistemas com GMOS/Gemini: imageamento + espectroscopia multi-slit (2010B e 2013B)
- Teste ferramentas desenvolvidas para o DES
- Estimativas de massa por lentes e dispersão de velocidades

Furlanetto et al., 2013, MNRAS, 432, 73

MEDIATRIX TOOLS

Cluster 6731

S-statistic

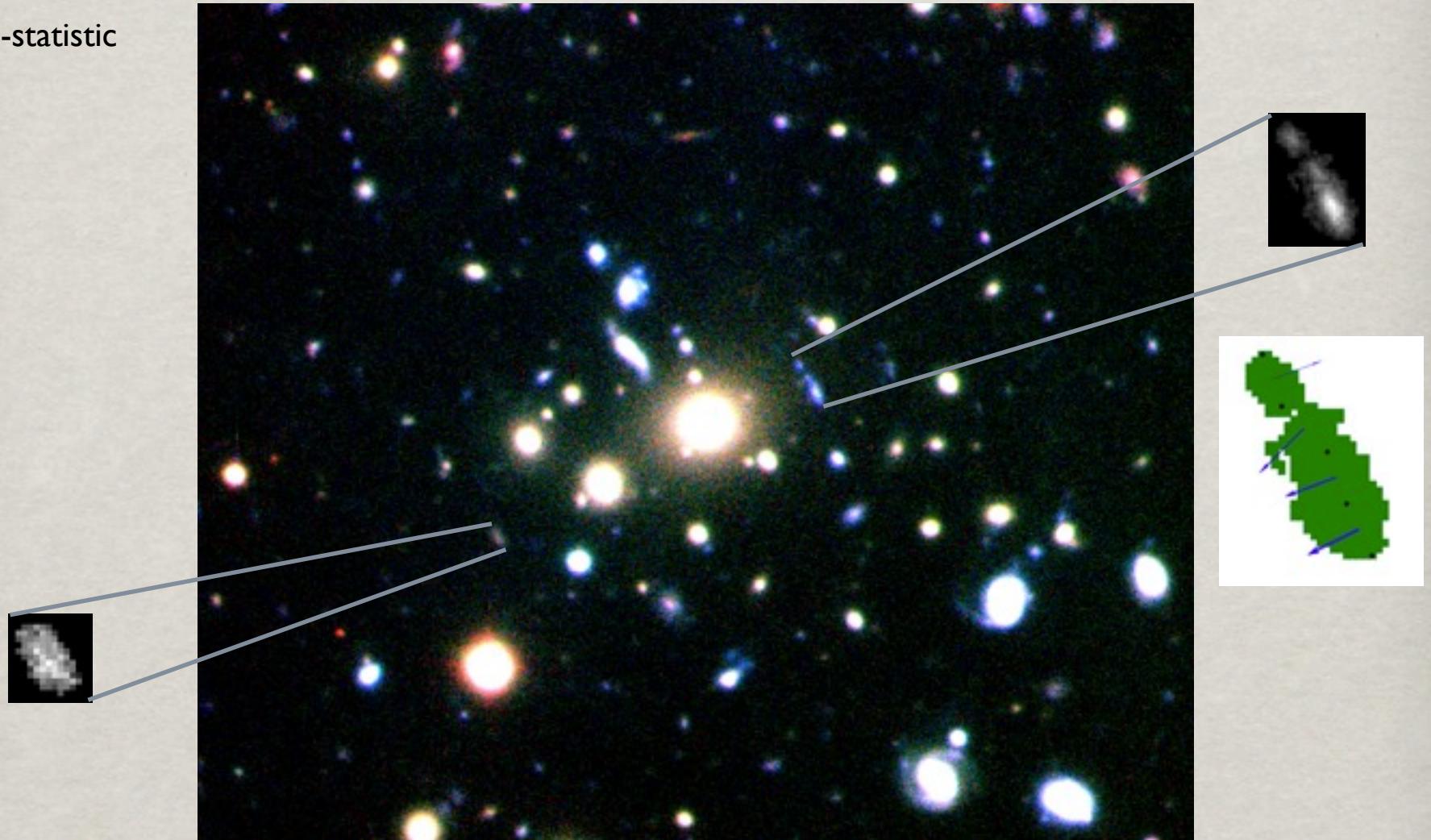


Bom, Makler, Albuquerque, 2012

MEDIATRIX TOOLS

Cluster 6731

S-statistic



Bom, Makler, Albuquerque, 2012

MEDIATRIX TOOLS

Cluster 6731

S-statistic

$$M(\vec{x}) := \sum_i^N d(\vec{x}, P_i)^2$$



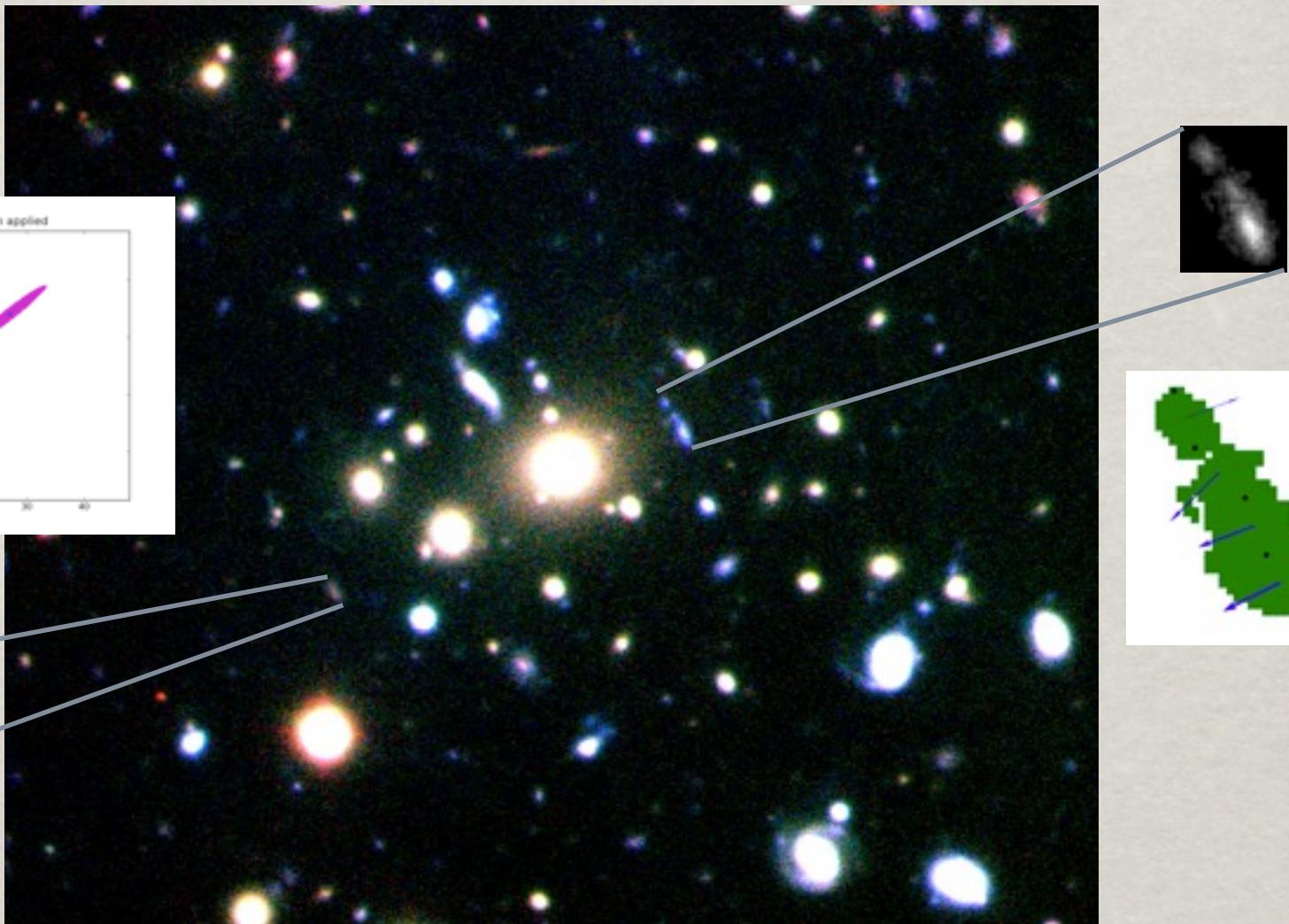
Bom, Makler, Albuquerque, 2012

MEDIATRIX TOOLS

Cluster 6731

S-statistic

$$M(\vec{x}) := \sum_i^N d(\vec{x}, P_i)^2$$



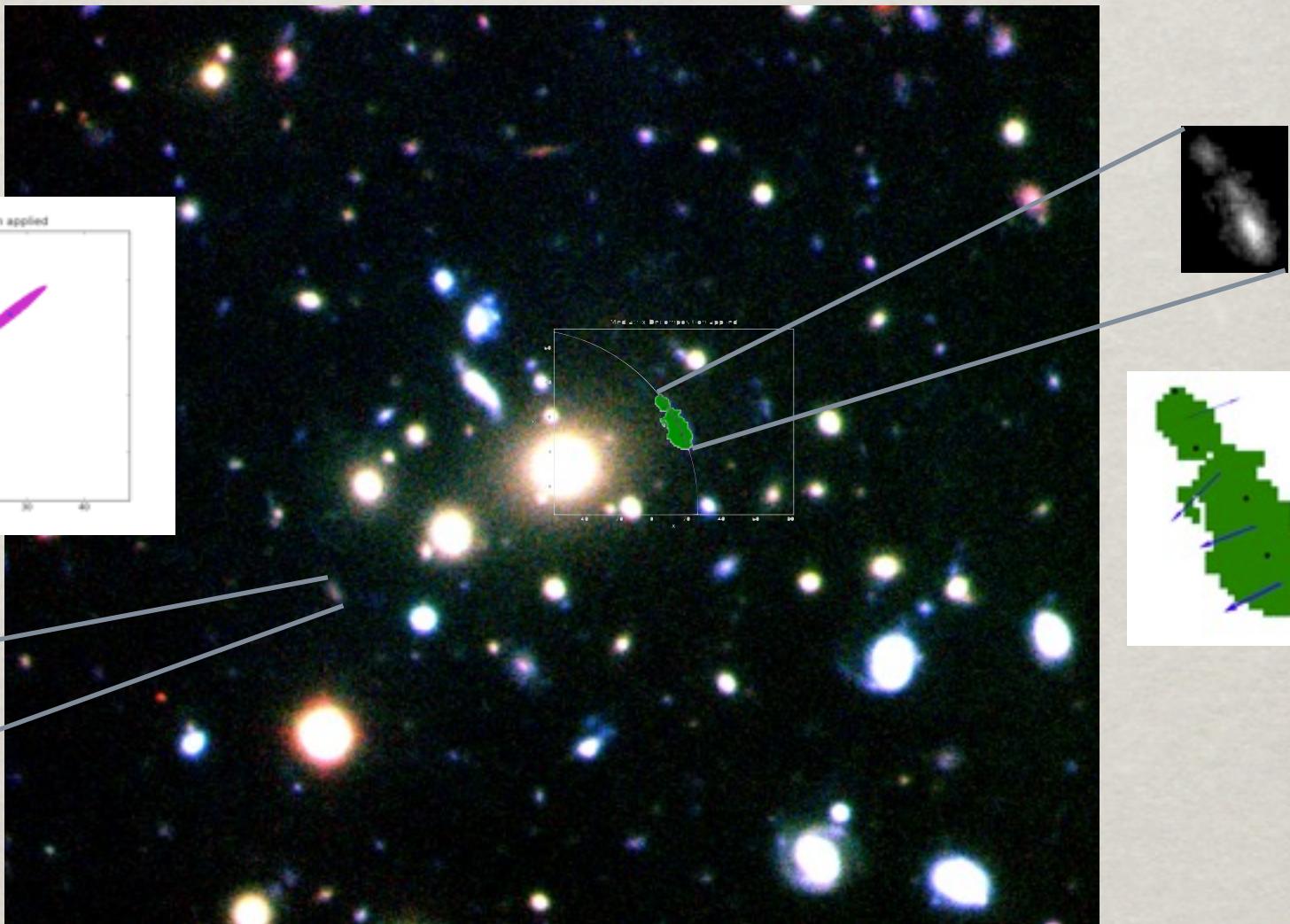
Bom, Makler, Albuquerque, 2012

MEDIATRIX TOOLS

Cluster 6731

S-statistic

$$M(\vec{x}) := \sum_i^N d(\vec{x}, P_i)^2$$



Bom, Makler, Albuquerque, 2012

MEDIATRIX TOOLS

Cluster 6731

S-statistic

$$M(\vec{x}) := \sum_i^N d(\vec{x}, P_i)^2$$



Bom, Makler, Albuquerque, 2012

PATENTE...

CS82: CFHT/MEGACAM STRIPE-82

- ⌘ Projeto França-Canadá-Brasil (PIs Kneib, Van Waerbeke, Makler)
- ⌘ 38 membros no Brasil, Canadá, Reino Unido, França, Suíça, EUA, China e Japão (e 26 colaboradores externos).
- ⌘ 170 deg² na SDSS tripe-82 até $i \sim 24$ (seeing $\sim 0.6''$!)
- ⌘ Lenteamento fraco e forte, de galáxias à LSS
- ⌘ Survey completado em 2011
- ⌘ Catálogos de lenteamento fraco, photo-z

- ⌘ e morfologia em 2013

- ⌘ CBPF:

- ⌘ Descoberta e caracterização de arcos
- ⌘ Catálogos de detecção e morfologia de galáxias
- ⌘ Processamento, armazenamento, infra-estrutura colaborativa



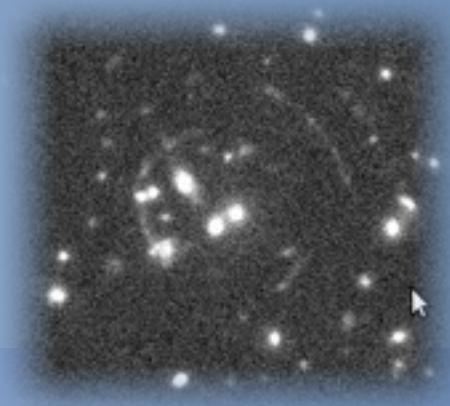
CS82: CFHT/MEGACAM STRIPE-82

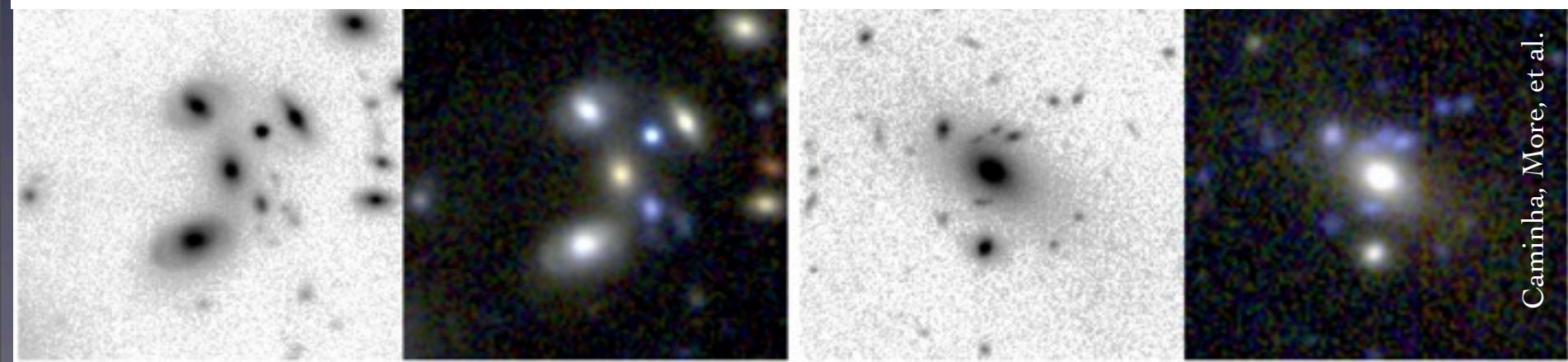
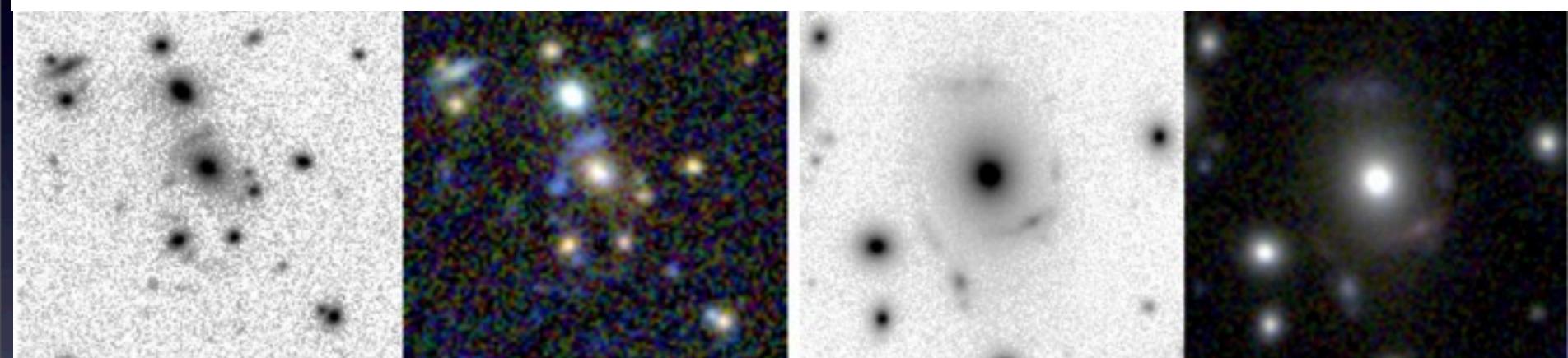
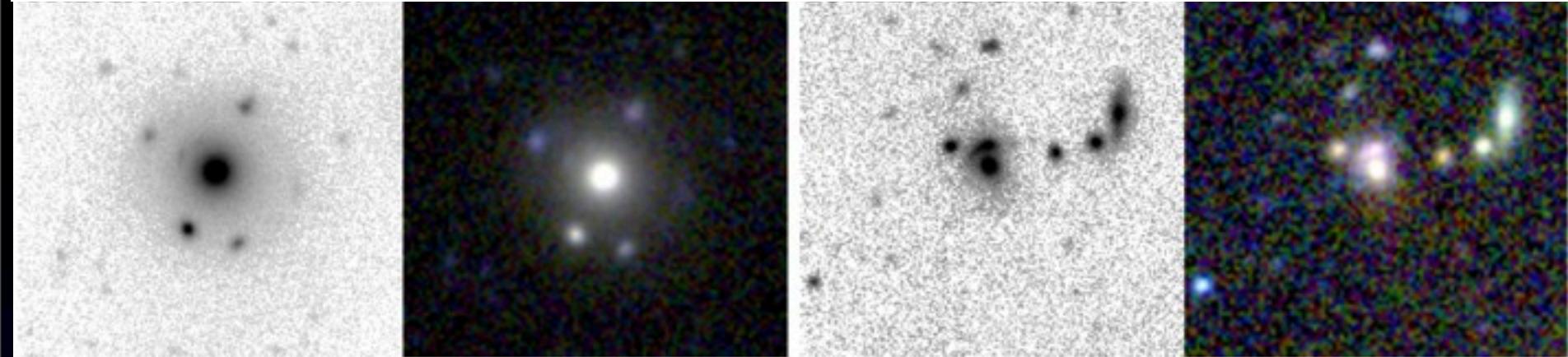
- ⌘ Projeto França-Canadá-Brasil (PIs Kneib, Van Waerbeke, Makler)
- ⌘ 38 membros no Brasil, Canadá, Reino Unido, França, Suíça, EUA, China e Japão (e 26 colaboradores externos).
- ⌘ 170 deg² na SDSS tripe-82 até $i \sim 24$ (seeing $\sim 0.6''$!)
- ⌘ Lenteamento fraco e forte, de galáxias à LSS
- ⌘ Survey completado em 2011
- ⌘ Catálogos de lenteamento fraco, photo-z

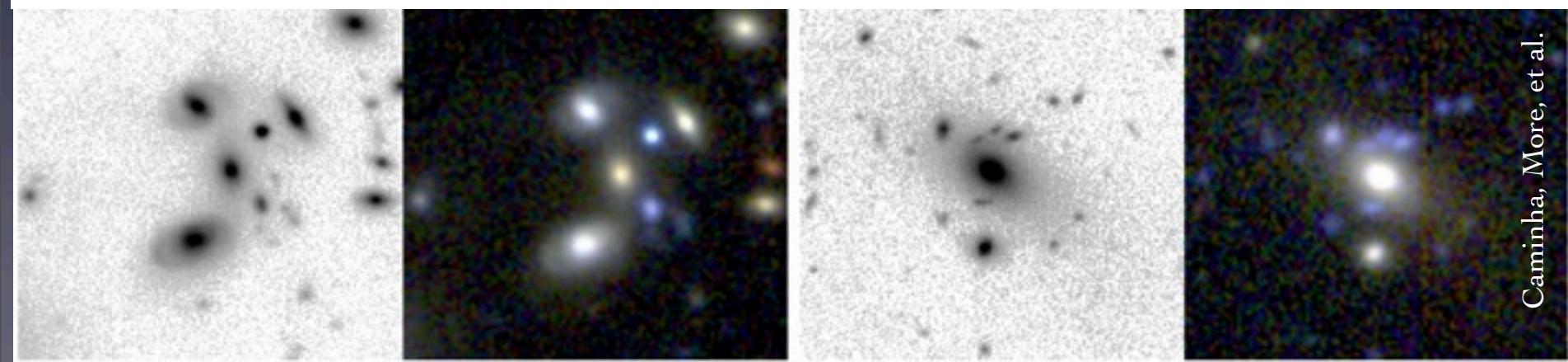
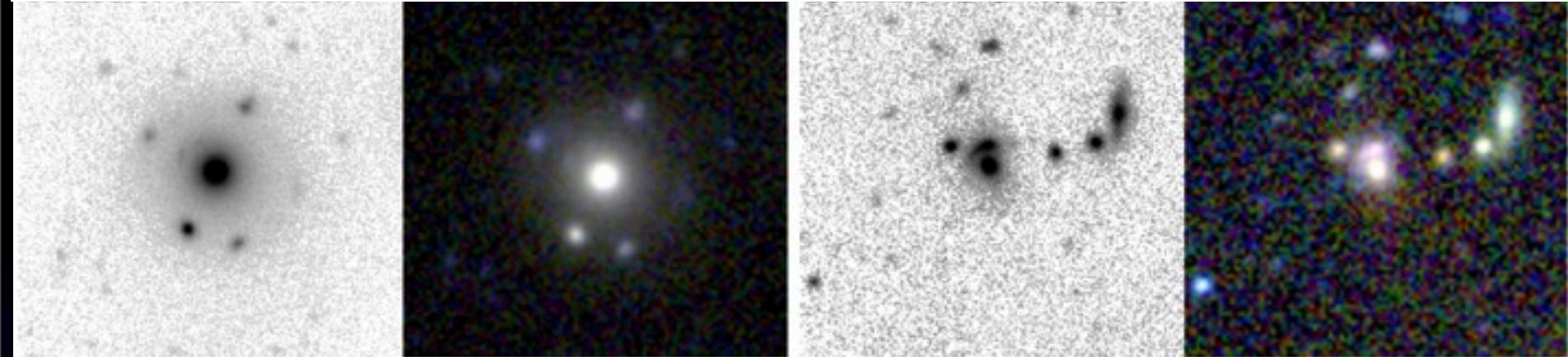
- ⌘ e morfologia em 2013

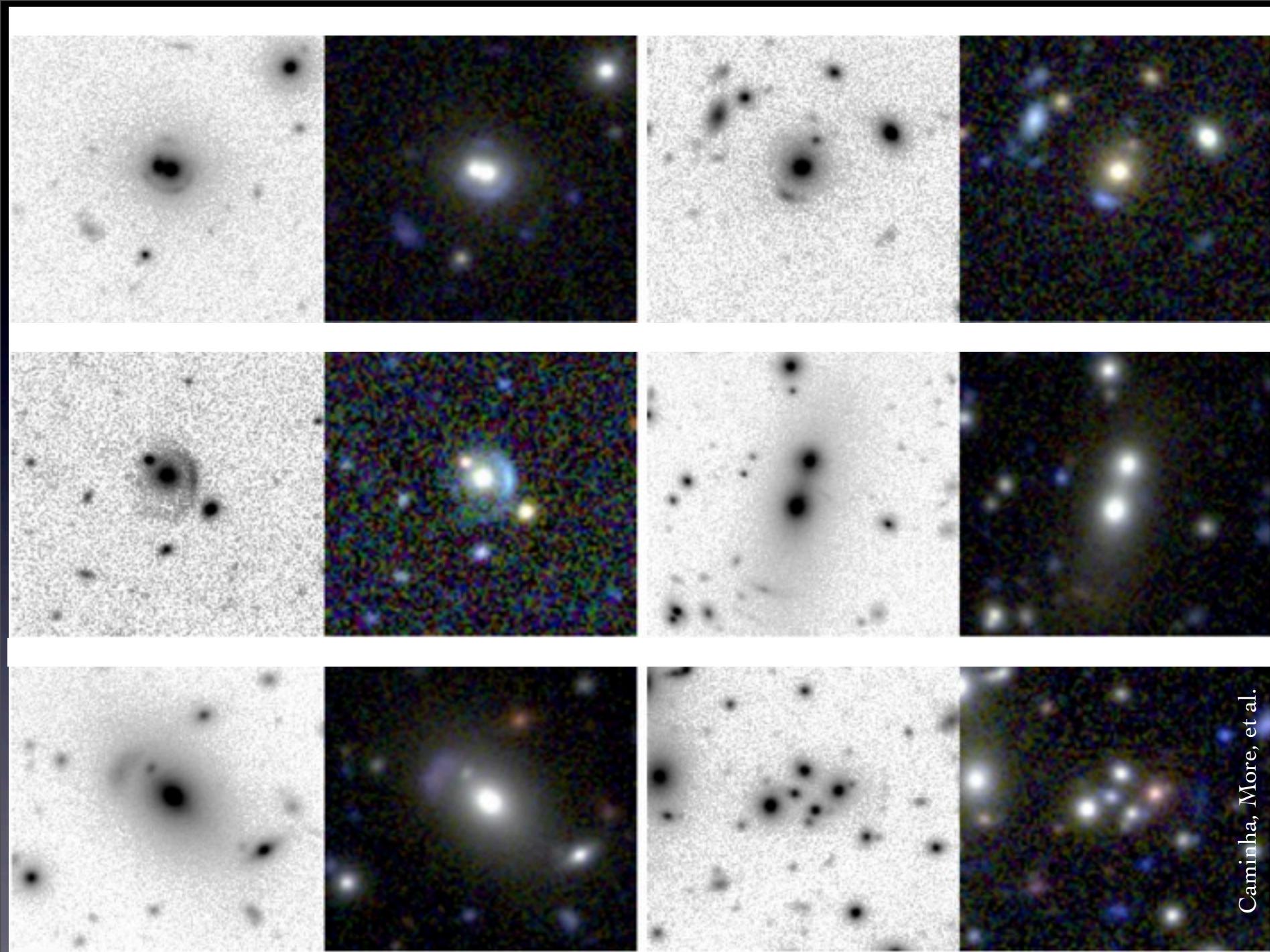
- ⌘ CBPF:

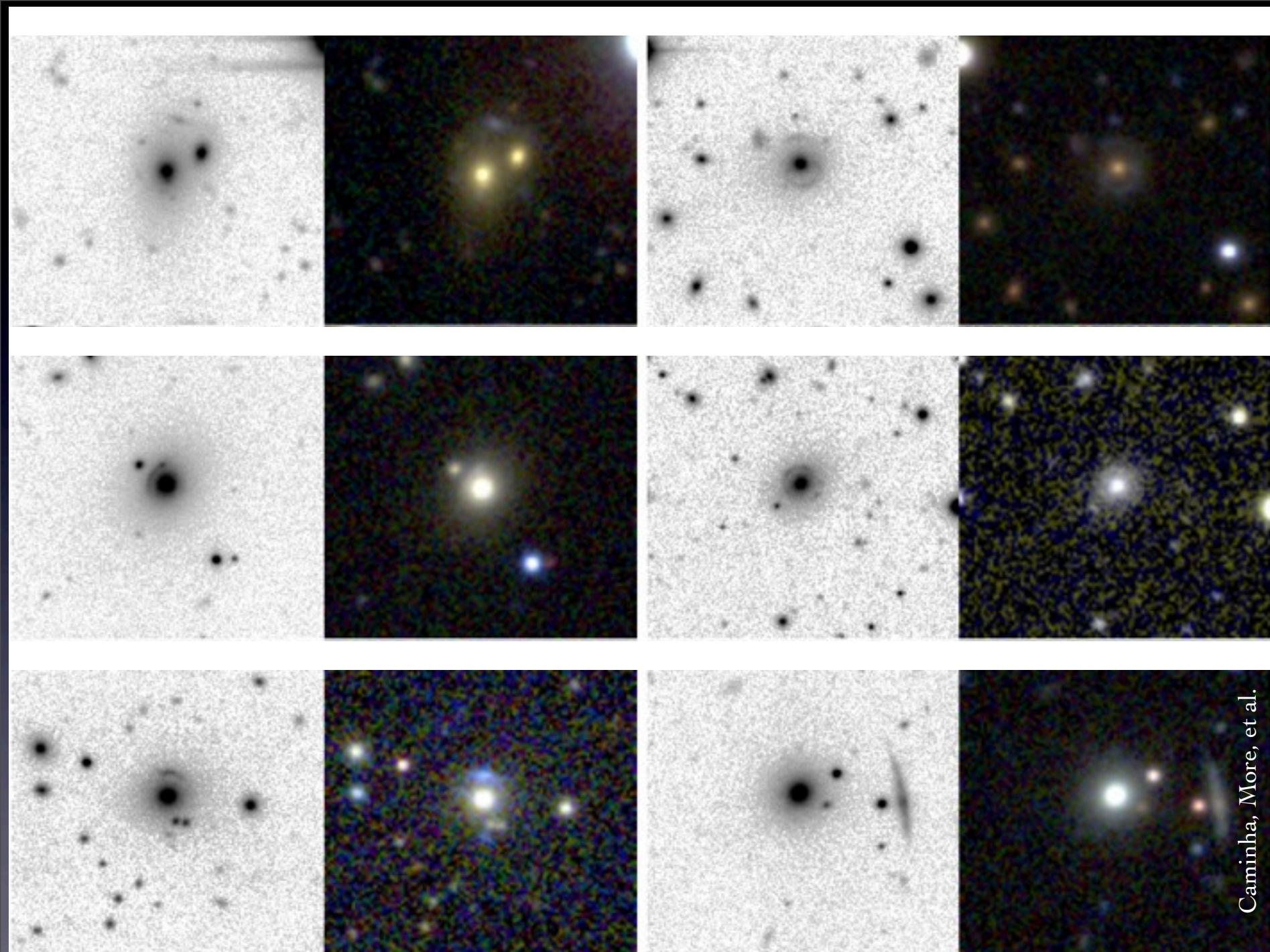
- ⌘ Descoberta e caracterização de arcos
- ⌘ Catálogos de detecção e morfologia de galáxias
- ⌘ Processamento, armazenamento, infra-estrutura colaborativa

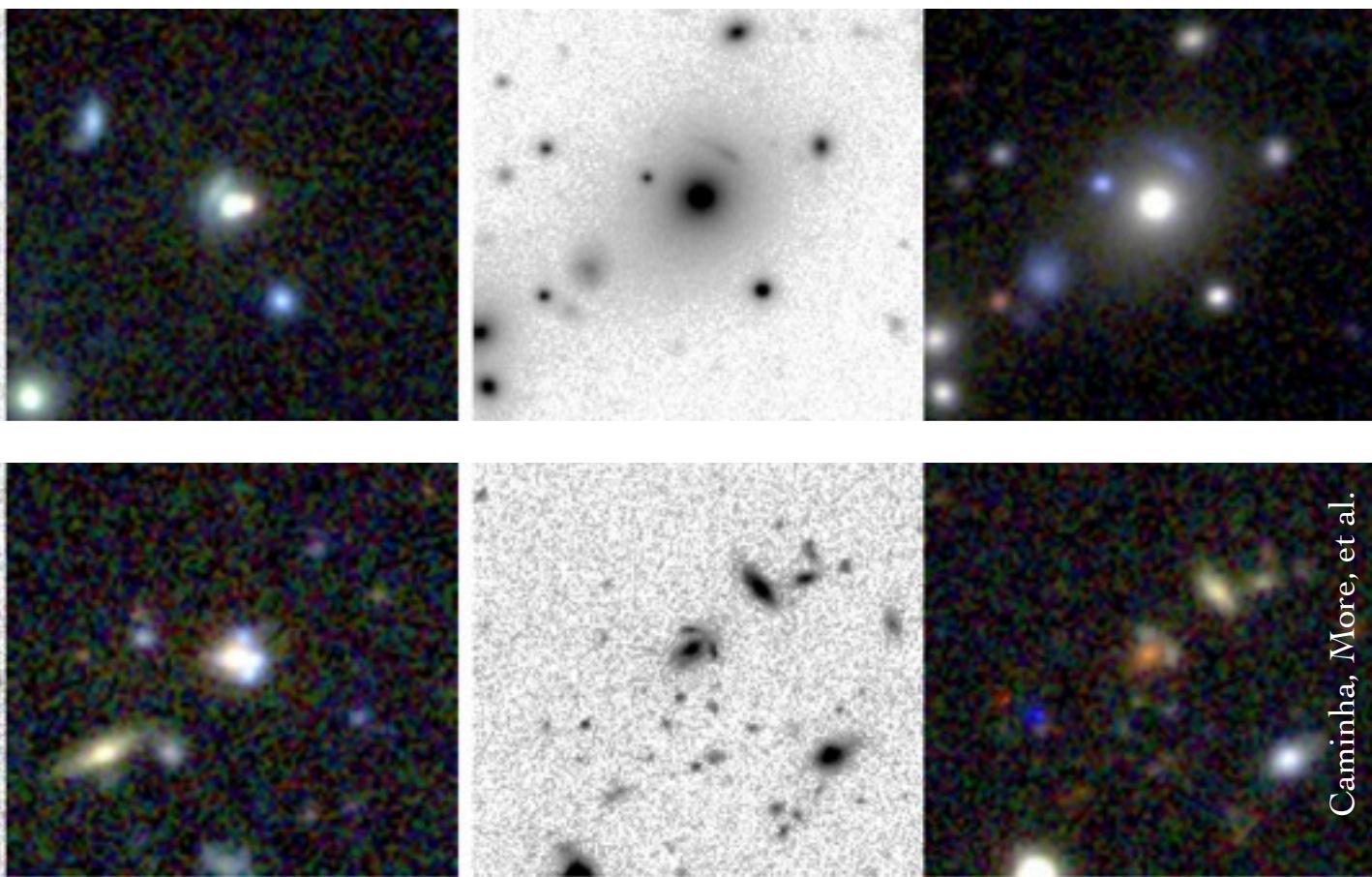






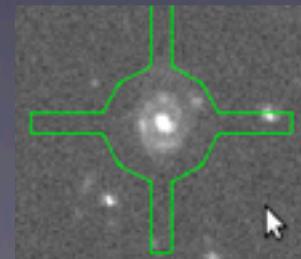
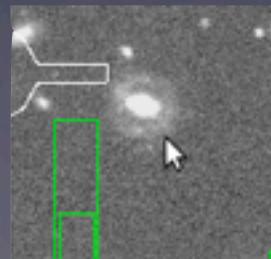
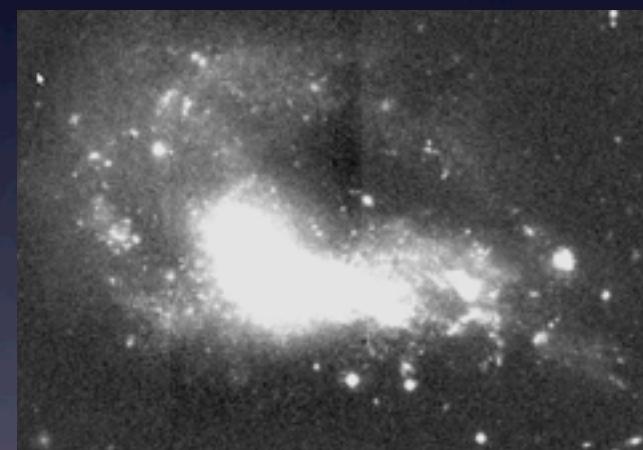
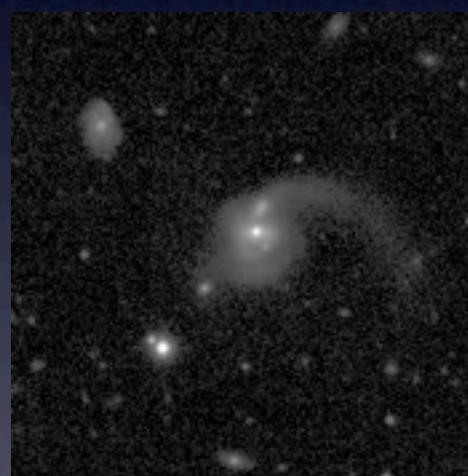
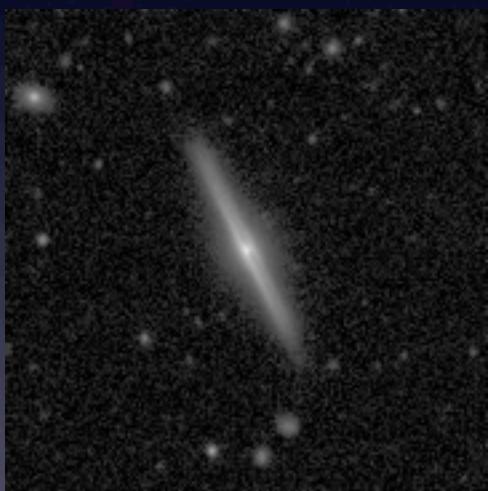
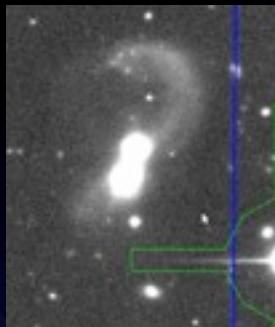






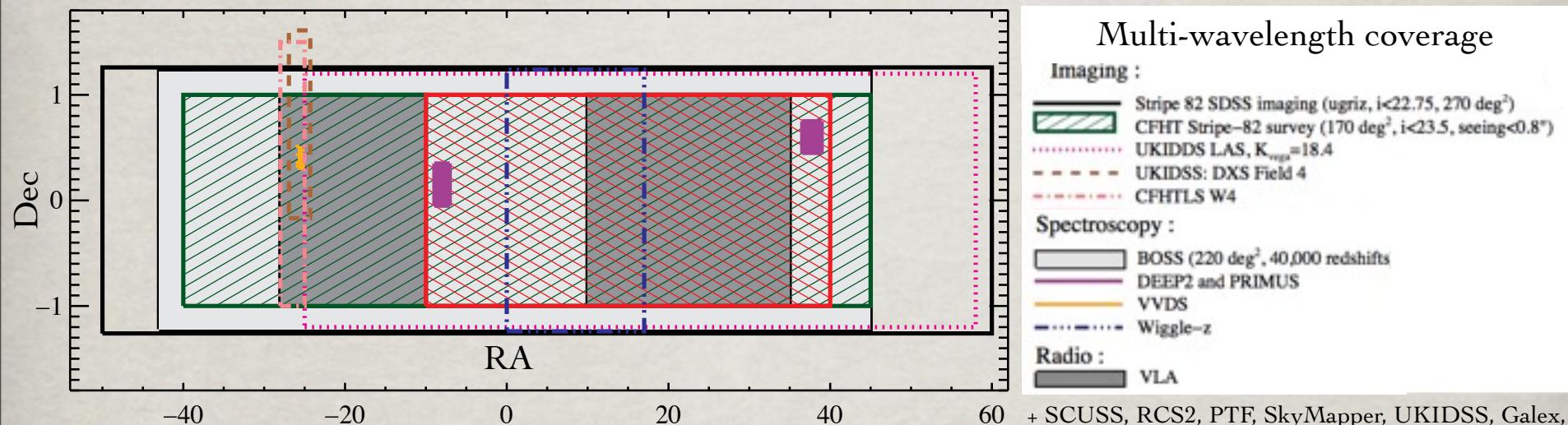
Follow-ups, modelamento da massa, etc.

“CS82 Gallery”



Stripe 82: o campo extragaláctico?

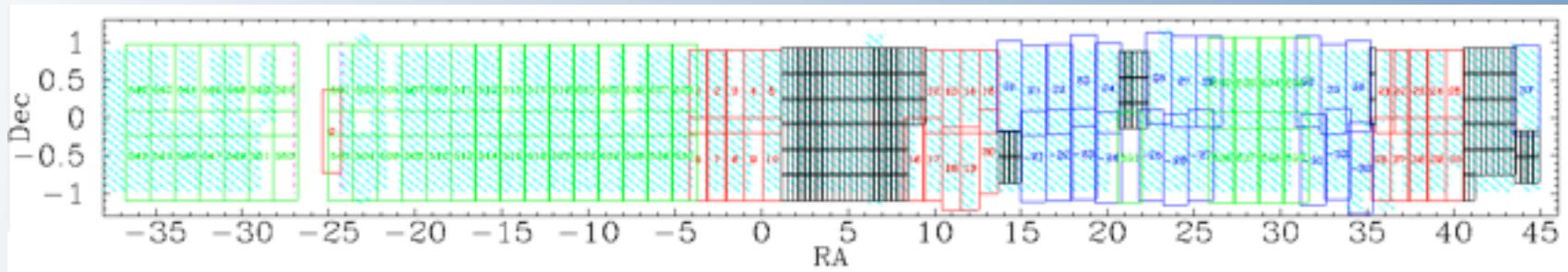
- Imagens repetidas do SDSS, coadds 2 mag mais profundo
- Photo-z and e catálogos de aglomerados com os SDSS coadds



- equatorial
- sinergia com DES
- fotometria+ espectroscopia SDSS/BOSS (publico!) + outros surveys
- formas para lenteamento gravitacional: CFHT ([CS82](#))
- SOAR Gravitational Arc Survey (47 g,r,i + [3+1 MOS/Gemini](#))
- ✓ WIRCam SDSS Equatorial Region Survey
- ✓ A Legacy VISTA of Stripe 82

} VISTA-CFHT Stripe 82 survey [ViCS82](#) (IR)

VICS82: VISTA-CFHT STRIPE 82 SURVEY

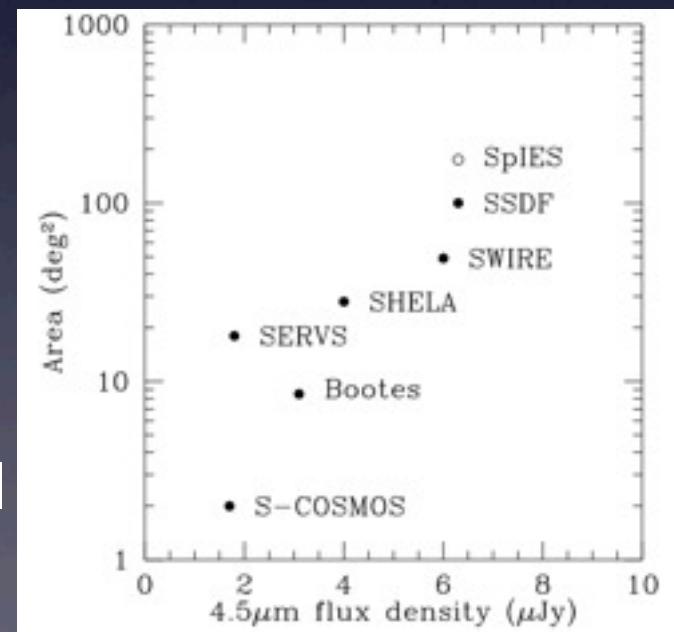


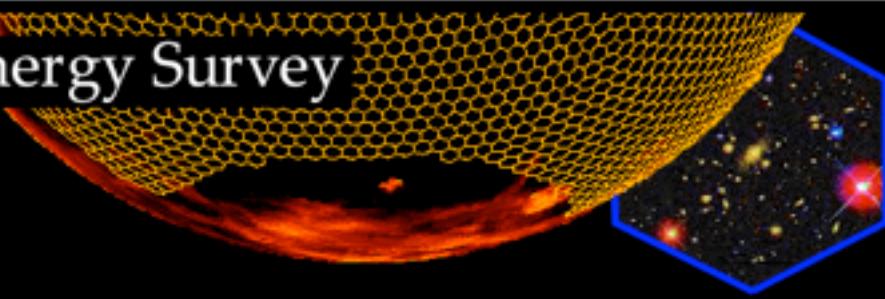
- Projeto Taiwan-França-Canadá-Brasil (Pis Lin, Kneib, Geach, Makler)
- 26 pesquisadores de Taiwan, Canadá, França, Brasil, EUA e Japão envolvidos
- Imageamento da Stripe 82 com VISTA+CFHT em 150 sq-deg nas bandas J e K até mag (AB) ~ 22
- Nicho único no balanço área x profundidade
- Observações 2011B + 2012B, redução e calibração de toda a área em curso
- Photo-z, massas, estelares, ciência de quasares, arcos, $z > 2$ QSOs...
- Descoberta de um sistema com arcos visíveis no IR
- CBPF:
 - geração de catálogos de detecção e de morfometria
 - estudos de lenteamento gravitacional



SPIES: SPITZER-IRAC EQUATORIAL SURVEY

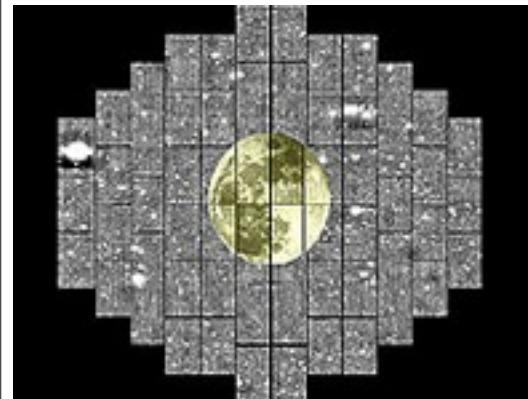
- Cobertura da Stripe-82 em 3.6μ e 4.5μ com IRAC/Spitzer.
- survey mais sensível nessa faixa com área na faixa dos ~ 100 graus quadrados, ~ 1000h em 2013 e 2014 (4 ciclos)
- Física de AGNs, QSO distantes (inclusive lenteeados), Lyman Break Galaxies, hóspedes de supernovas, anãs brancas e marrons
- 36 pesquisadores dos EUA, Reino Unido, Canadá, França e Brasil



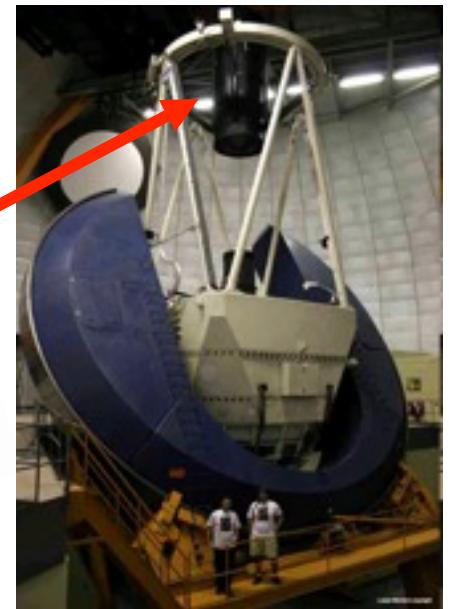
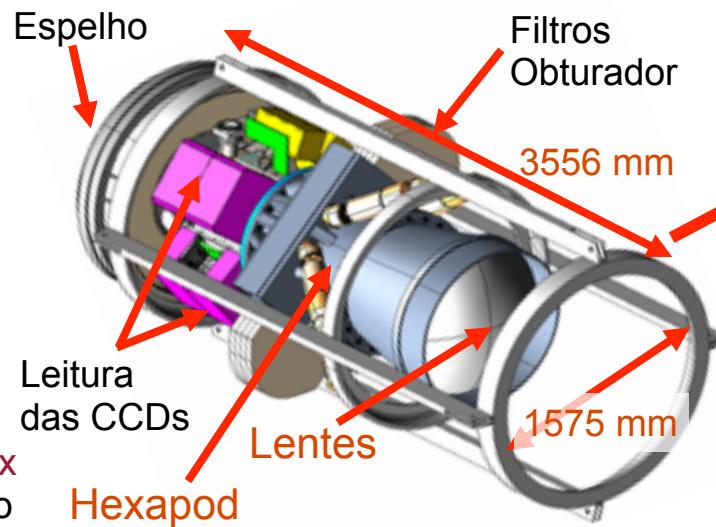


@ *Dark Energy Survey*

- *Blanco CTIO 4m*
- **DECam:** 500 Megapíxeis, ~ 3 graus 2
- 30% do CTIO em 5 anos (525 noites)
- $g, r, i, z, Y = 25.1, 24.7, 24.0, 23.1, 21.1$
- 5000 deg 2 , seeing mediano $\leq 0.9''$



62 2kx4k CCDs imagem: 520 MPix
8 2kx2k CCDs foco, alinhamento
4 2kx2k CCDs de guiagem

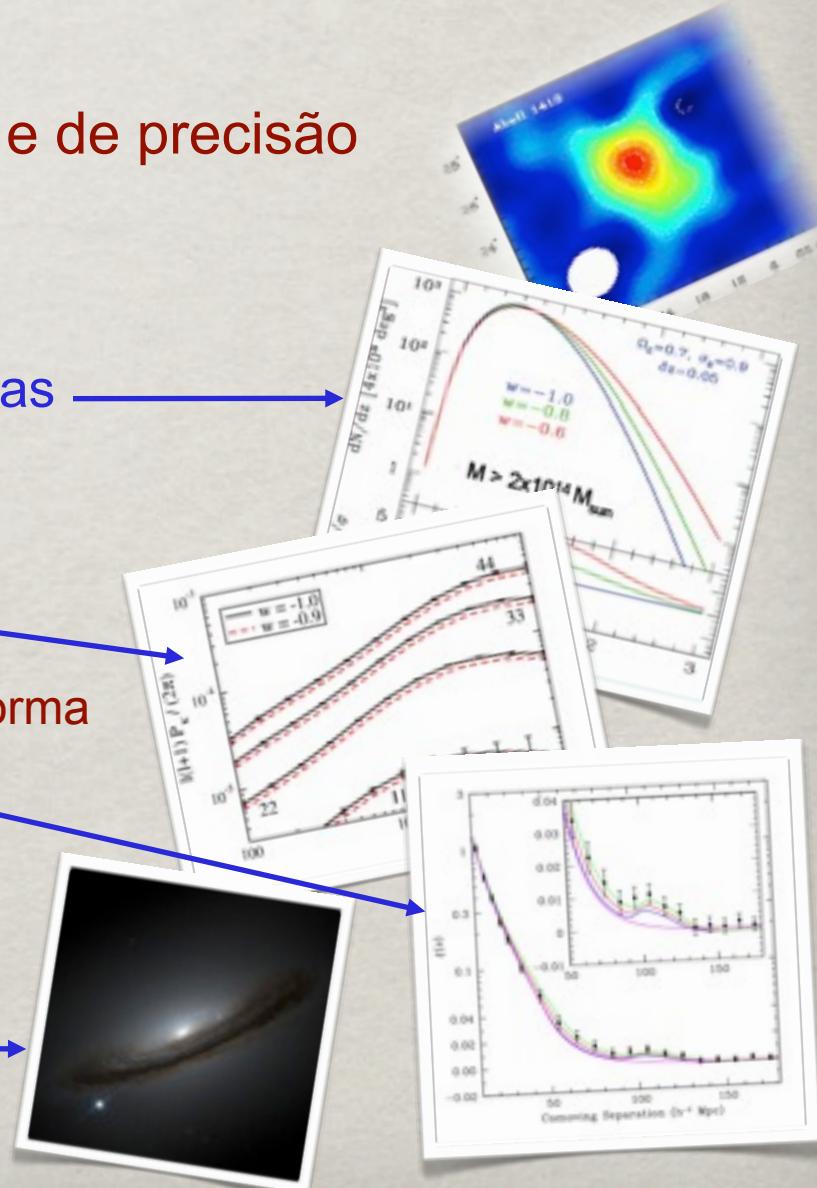


MEDIDAS DA ENERGIA ESCURA COM O DES

- Realizar medidas **complementares** e de precisão dos efeitos da energia escura
- “Novos métodos”
 - Contagem de aglomerados de galáxias
 - 20,000 aglomerados de grande massa
 - 200,000 grupos e aglomerados
 - Efeito fraco de lentes gravitacionais
 - 300 milhões de galáxias com medida da forma
 - Distribuição espacial de galáxias
 - 300 milhões de galáxias
- Medida “padrão da energia escura”
 - Distâncias de supernovas do tipo Ia
 - ~ 2000 supernovas

MEDIDAS DA ENERGIA ESCURA COM O DES

- Realizar medidas **complementares** e de precisão dos efeitos da energia escura
- “Novos métodos”
 - Contagem de aglomerados de galáxias →
 - 20,000 aglomerados de grande massa
 - 200,000 grupos e aglomerados
 - Efeito fraco de lentes gravitacionais →
 - 300 milhões de galáxias com medida da forma
 - Distribuição espacial de galáxias →
 - 300 milhões de galáxias
- Medida “padrão da energia escura”
 - Distâncias de supernovas do tipo Ia →
 - ~ 2000 supernovas



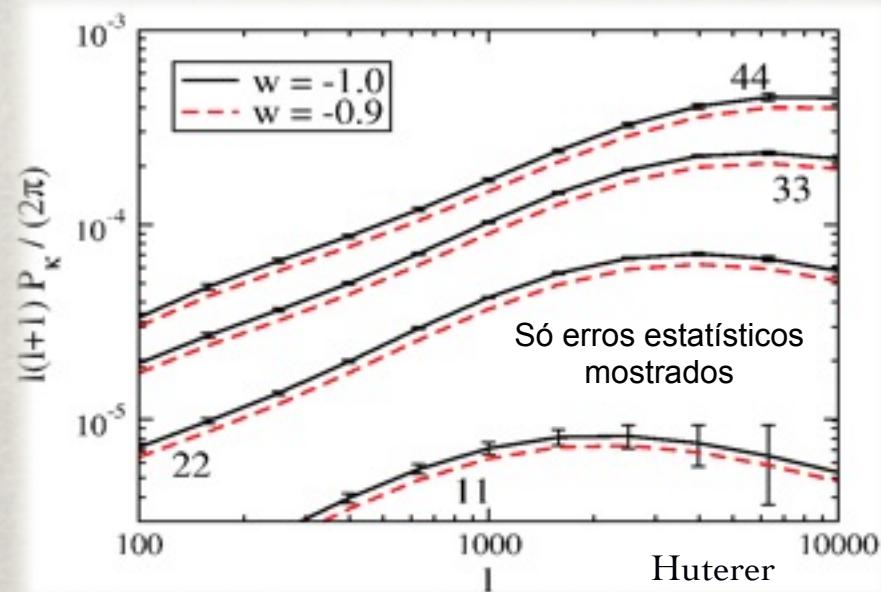
EFEITO FRACO DE LENTE GRAVITACIONAL

- Efeito fraco de lente (estatístico)
- Sensível à energia escura (geometria + fator de crescimento)
- Menos sensível à física bariônica
- Grandes separações: linear
- Exemplo: espectro de potência do cisalhamento cósmico em quatro fatias de foto z's (tomografia)
- DES:
 - ✓ combinação única de área, seeing e profundidade
 - ✓ Formas de ~ 300 milhões de galáxias com $\langle z \rangle = 0.7$

$$C_\ell^{x_a x_b} = \int dz \frac{H(z)}{D_A^2(z)} W_a(z) W_b(z) P^{s_a s_b}(k = \ell/D_A; z)$$

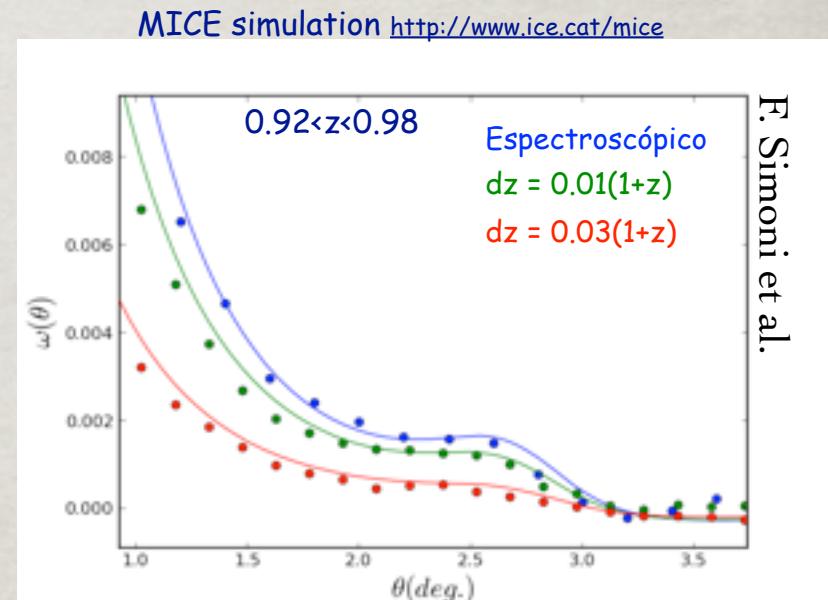
$$\Delta C_\ell = \sqrt{\frac{2}{(2\ell+1)f_{sky}}} \left(C_\ell + \frac{\sigma^2(\gamma_i)}{n_{eff}} \right)$$

10-20 galáxias/arcmin²



AGLOMERAÇÃO ANGULAR E OABS

- ✿ Grandes escalas:
 - oscilações de Bárions (picos acústicos)
 - Régua padrão
- ✿ Teste geométrico (D_A)
- ✿ Fatias de z_{fot}
- ✿ Importância da modelagem
- ✿ Pequenas escalas: modelo de halos, etc.

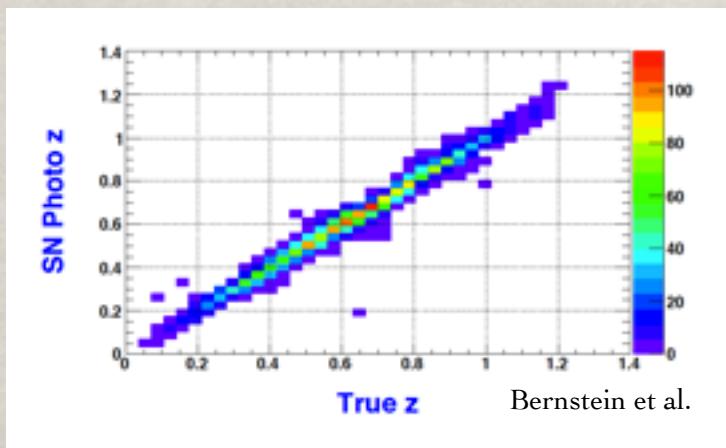


OAB na função de correlação angular

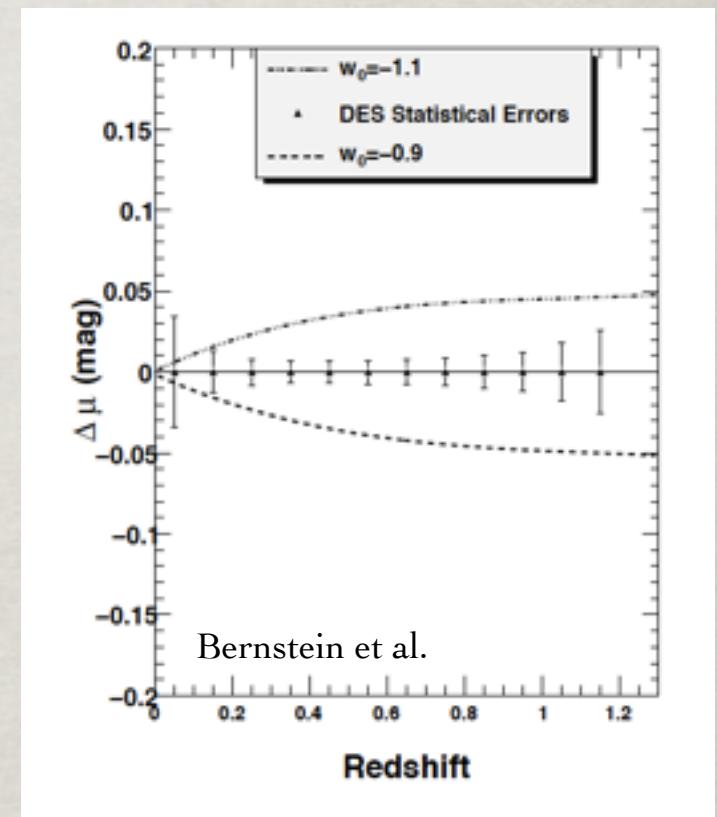
Outliers em photo-z induzem desvio de 5% função de correlação angular próximo do OAB

SUPERNOVAS

- Survey “independente”
- Descoberta de 6000 SN Ia
- Maior amostra homogênea a altos z
- 3000 selecionadas para espectroscopia
- Teste geométrico (D_L)



20



- Simulações detalhadas
- Foto-z funcionam bem para SNIa!

A força de múltiplos observáveis

Suposições:

Aglomerados:

$\sigma_8 = 0.75$, $z_{\text{max}} = 1.5$,

calibração de WL

(sem aglomeração)

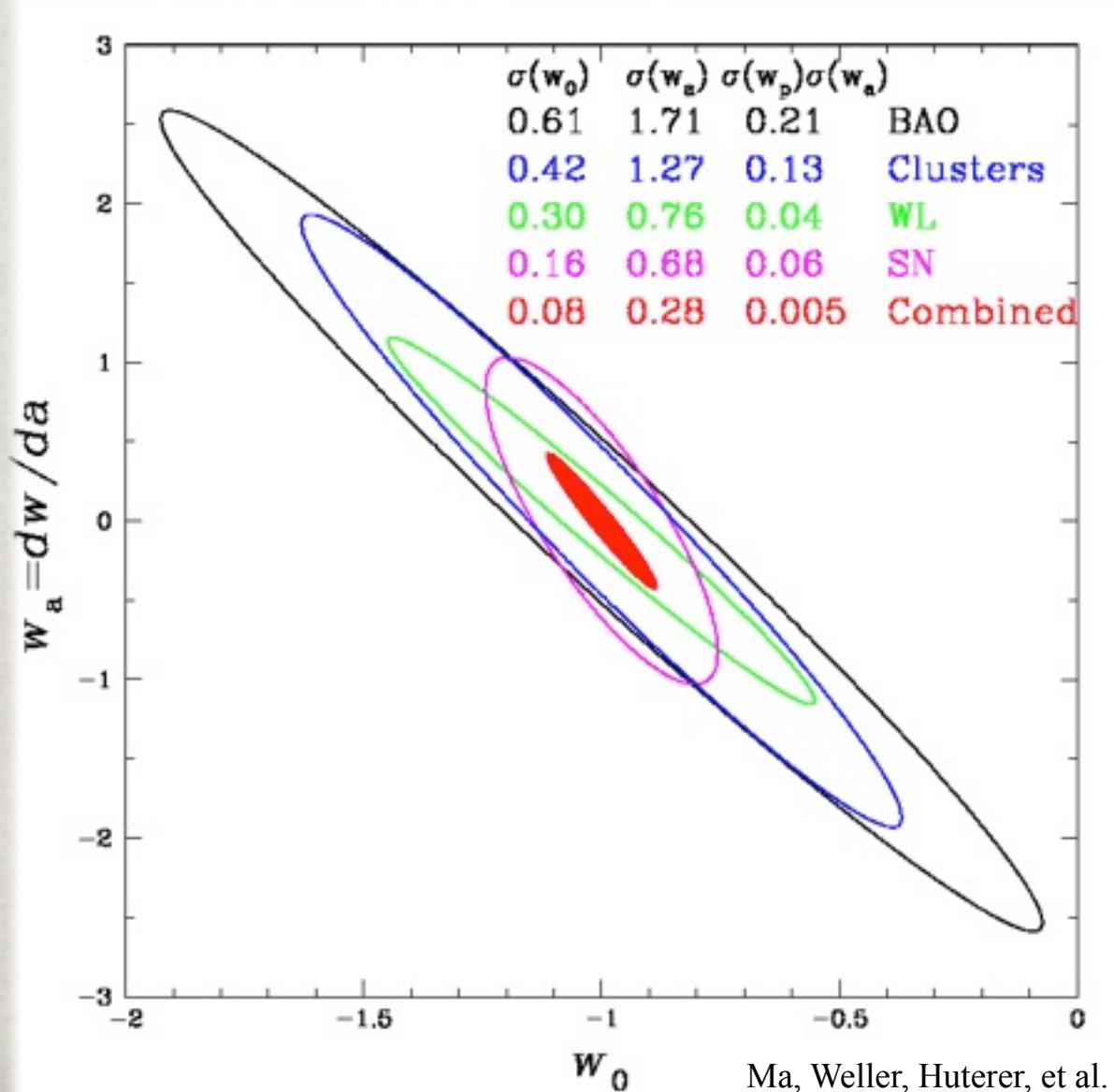
BAO: $\ell_{\text{max}} = 300$

WL: $\ell_{\text{max}} = 1000$

(sem bi-espectro; gal-mass
incluído na combinação
Erros estatísticos, sistemáticos
de 0.002 ee photo-z apenas)

Curvatura espacial,
marginalizado no viés
galáctico

A priori de CMB do Planck



A força de múltiplos observáveis

Suposições:

Aglomerados:

$$\sigma_8 = 0.75, z_{\text{max}} = 1.5,$$

calibração de WL

(sem aglomeração)

BAO: $\ell_{\text{max}} = 300$

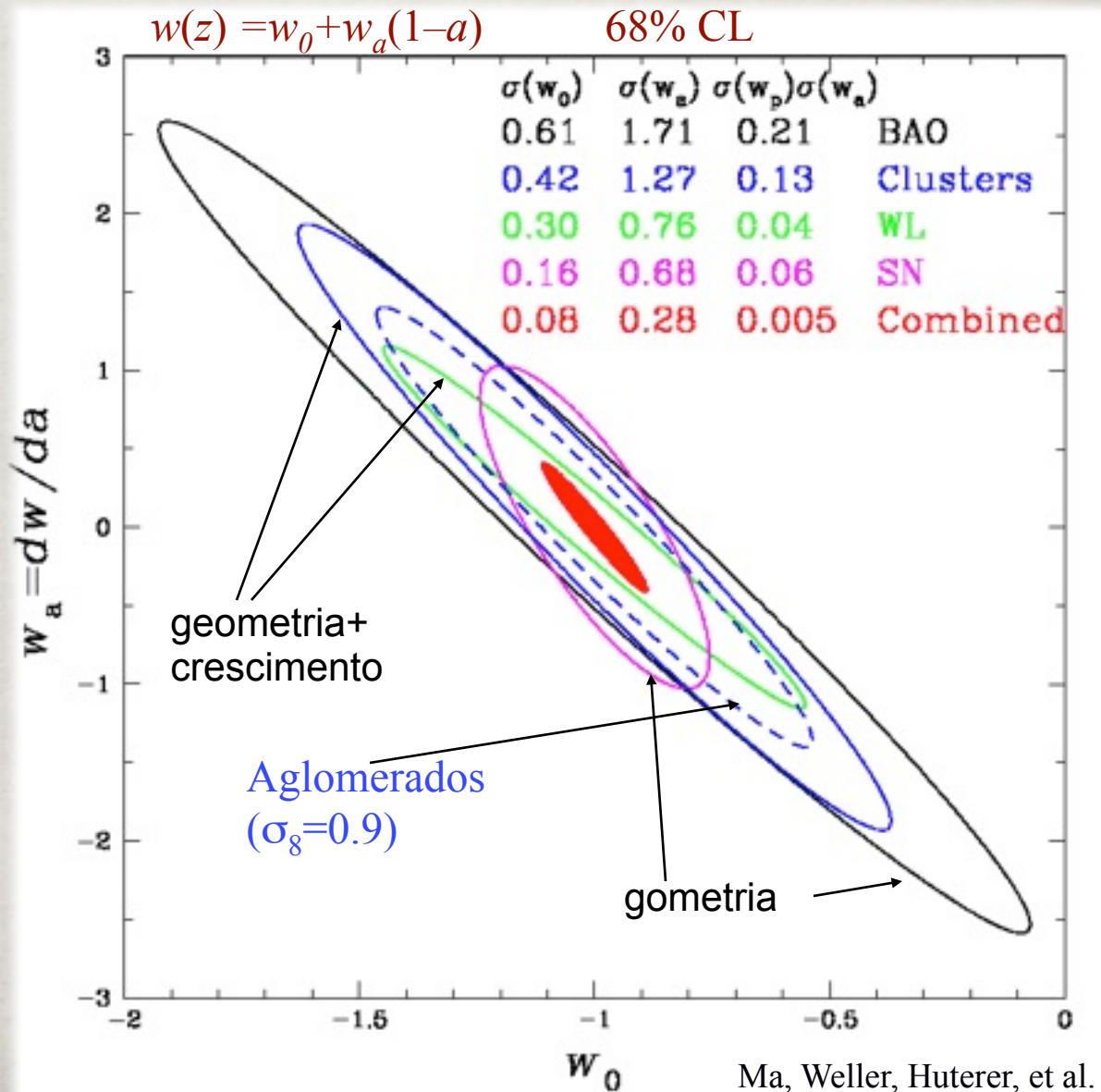
WL: $\ell_{\text{max}} = 1000$

(sem bi-espectro; gal-mass incluído na combinação)

Erros estatísticos, sistemáticos de 0.002 ee photo-z apenas

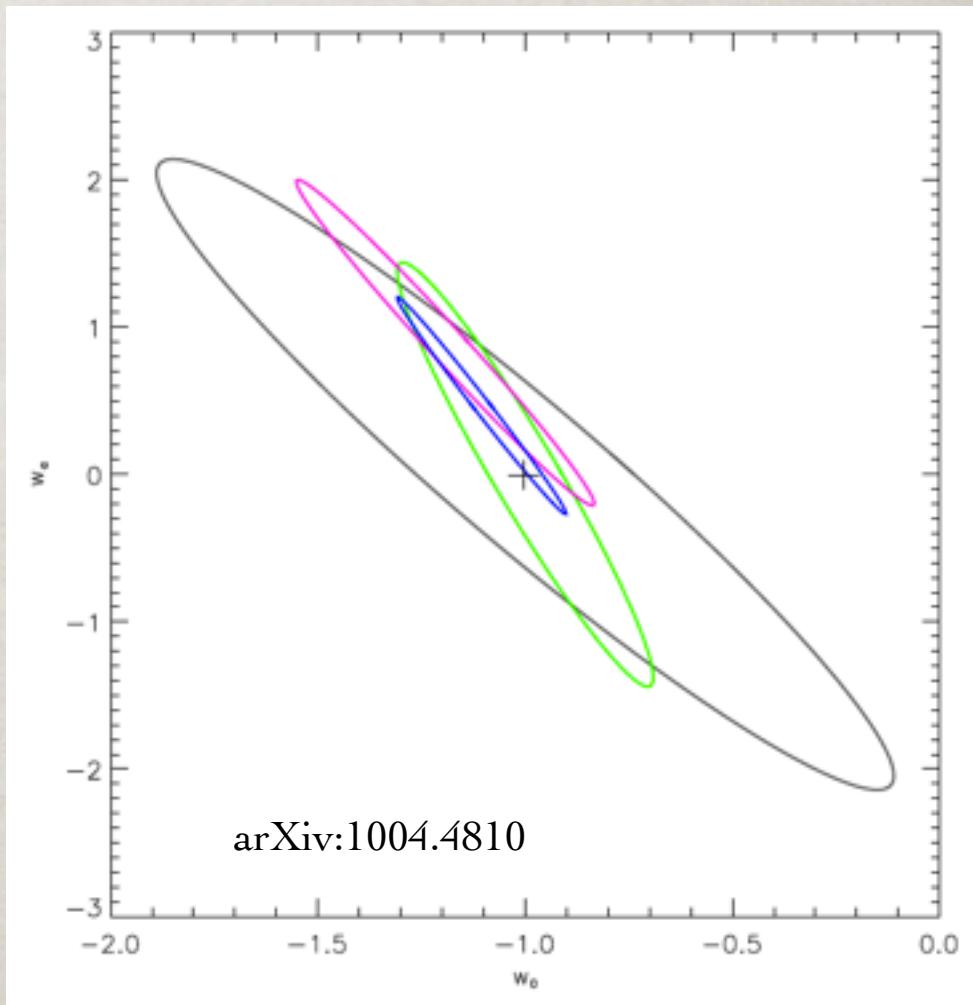
Curvatura espacial, marginalizado no viés galáctico

A priori de CMB do Planck



TEORIA

- ✿ Muito além da Energia Escura
 - ✿ Testes da relatividade geral e
 - ✿ Gravidade modificada
 - ✿ Perturbações na energia escura
 - ✿ Modelos com grandes heterogeneidades
- ✿ Limites na não gaussianidade (comparável com Planck!)
- ✿ Estratégia observacional
- ✿ Novos observáveis e combinação
 - ✿ Efeito Sachs Wolfe integrado
- ✿ Métodos estatísticos e a prioris



SIMULAÇÕES DE IMAGENS

- ✿ Teste de “cabo a rabo” do sistema:

Cosmologia → Imagens “cruas” → sistema de processamento (redução, geração de catálogos, etc.) → Análise científica → Cosmologia

- ✿ Data Challenges (atual DC-5)
- ✿ Inclui: galáxias, estrelas (com velocidades peculiares), assinaturas do detector, instrumento, atmosfera, etc.
- ✿ Inúmeros testes de validação (QA, ciência, portal)
- ✿ Contribuições para as simulações

GALÁXIAS

Simulações de N-corpos

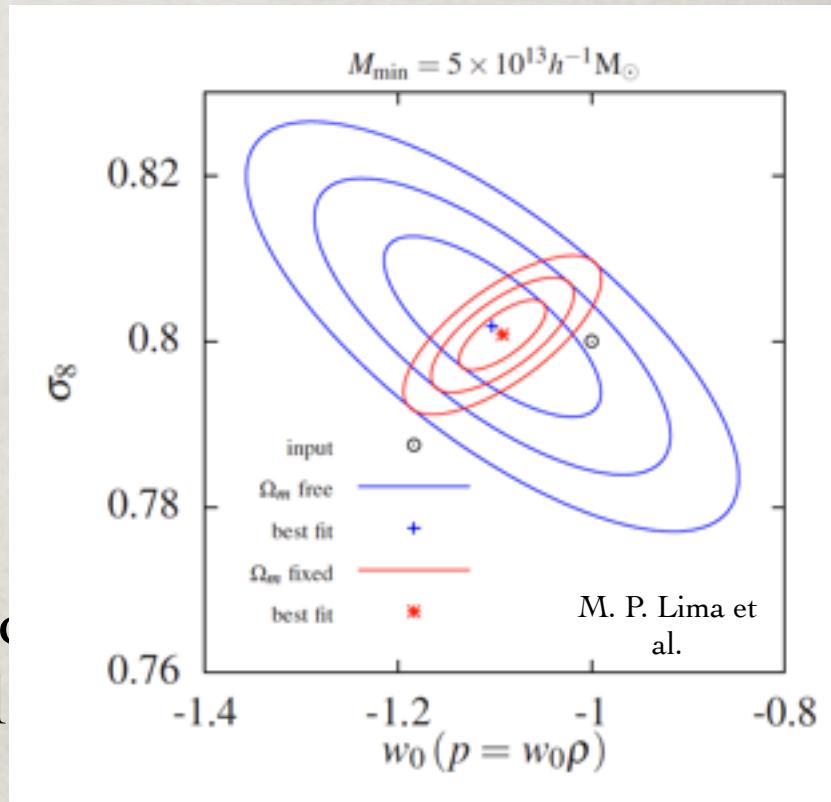
- galáxias com cor e luminosidade (ADDGALS)
- morfologia (COSMOS)
- cisalhamento de lentes
- incertezas na magnitude
- ✿ Utilizado também como “ciclo intermediário” (teste no nível de catálogo)
- ✿ Principalmente alogmerados (VCC/BCC)

GALÁXIAS

Simulações de N-corpos

- galáxias com cor e luminosidade (ADDGALS)
- morfologia (COSMOS)
- cisalhamento de lentes
- incertezas na magnitude

- ✿ Utilizado também como “ciclo intermediário” (teste no nível de catálogo)
- ✿ Principalmente alogmerados (VCC/BCC)



Primeira previsão para aglomerados no DES baseada em simulações

ARCOS GRAVITACIONAIS

ADDARCS (v0.2.2): SIMULAÇÃO DE ARCOS GRAVITACIONAIS EM IMAGENS

Halos a partir de
simulações de N-corpos

Fontes a partir do
Hubble Ultra Deep
Field (perfis de
Sérsic)

NFW

Arcos simulados

ARCOS GRAVITACIONAIS

ADDARCS (v0.2.2): SIMULAÇÃO DE ARCOS GRAVITACIONAIS EM IMAGENS

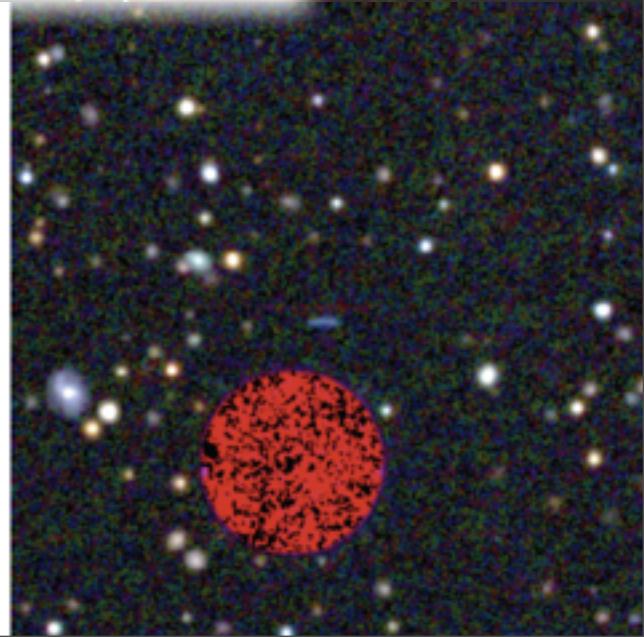
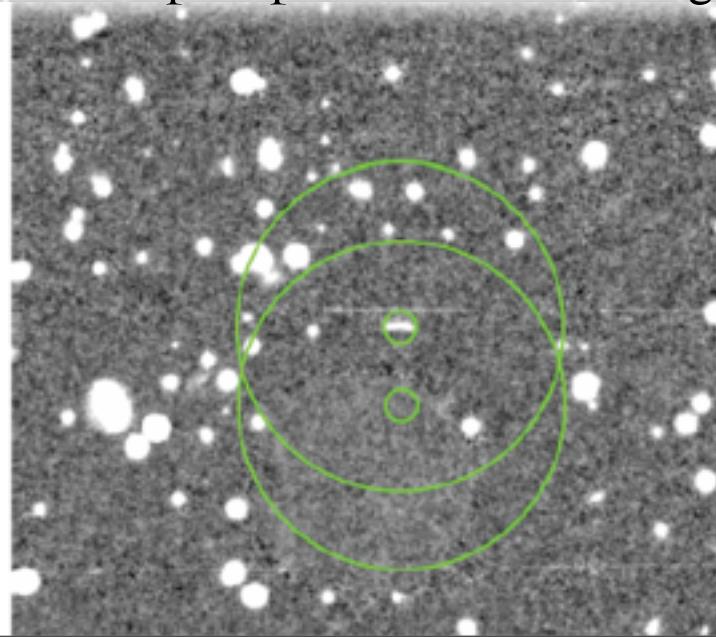
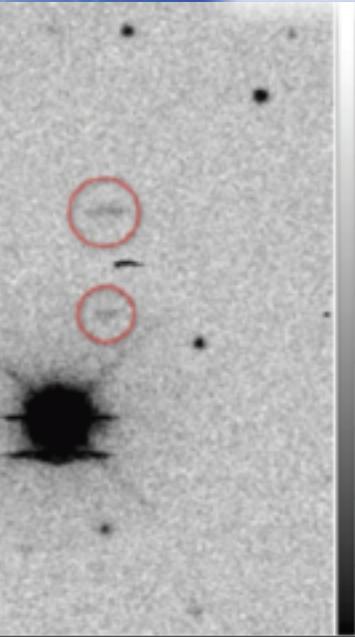
Halos a partir de
simulações de N-corpos

Fontes a partir do
Hubble Ultra Deep
Field (perfis de
Sérsic)

NFW

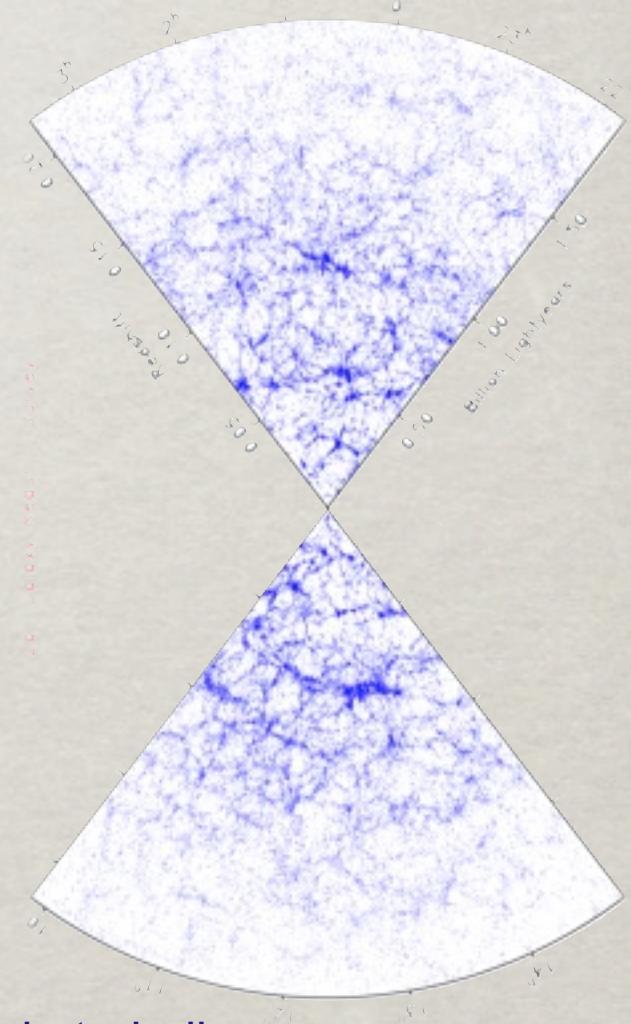
Arcos simulados

DC5 incluiu pela primeira vez arcos gravitacionais



O MELHOR DO DES É QUE ELE NÃO É (APENAS) UM EXPERIMENTO DE ENERGIA ESCURA

- Astrofísica a partir de
 - Aglomerados de galáxias
 - Estrutura em grande escala
 - Lentes gravitacionais (fracas e fortes)
 - Supernovas
- Física fundamental
 - Testes da relatividade geral
 - Matéria escura
 - Massa dos neutrinos
- Quasares
- Evolução galáctica
- Estrutura galáctica
- Anãs marrons
- NEOs
- Novas descobertas...

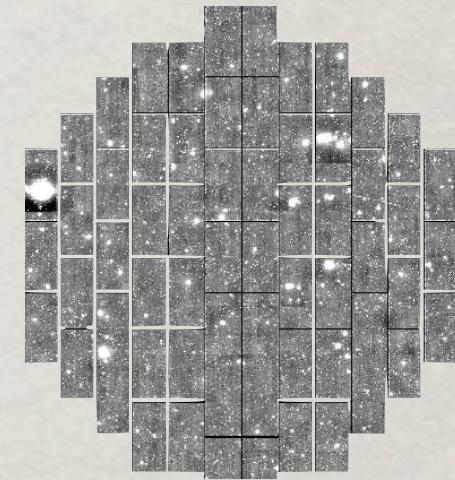


White papers → novos grupos de trabalho

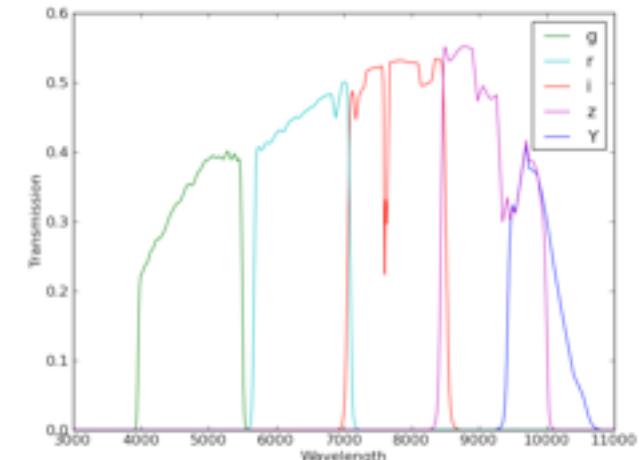


UMA NOVA CÂMERA: DECAM

- ✿ 500 Megapíxeis,
- ✿ Campo: ~ 3 graus 2
- ✿ 0.27"/pixel
- ✿ CCDs sensíveis no vermelho
- ✿ ~ 1.8 Tb/noite
- ✿ Telescópio Blanco 4m
- ✿ 30% do CTIO em 5 anos (525 noites)
- ✿ g, r, i, z, Y = 25.1, 24.7, 24.0 23.1, 21.1
 - ✿ redshifts fotométricos
 - ✿ acurácia: $dz < 0.02$ até $z = 1$
- ✿ Cobertura: 5000 deg 2
- ✿ Seeing mediano atual $\leq 0.9''$

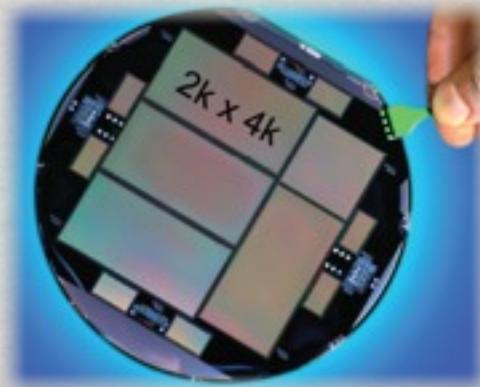
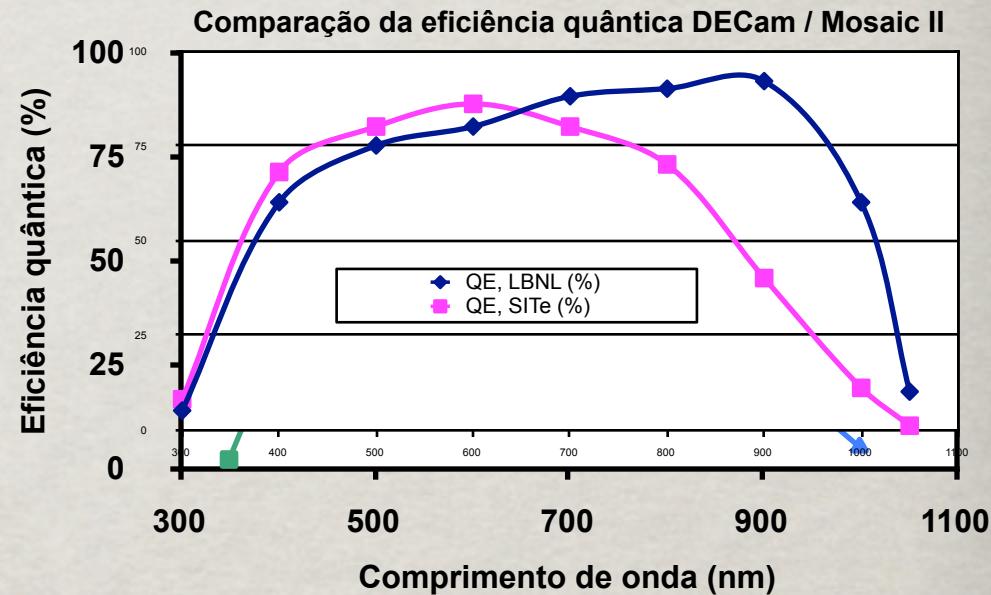


62 2kx4k CCDs para imagem: 520 MPix
8 2kx2k foco, alinhamento CCDs
4 2kx2k guiagem CCDs

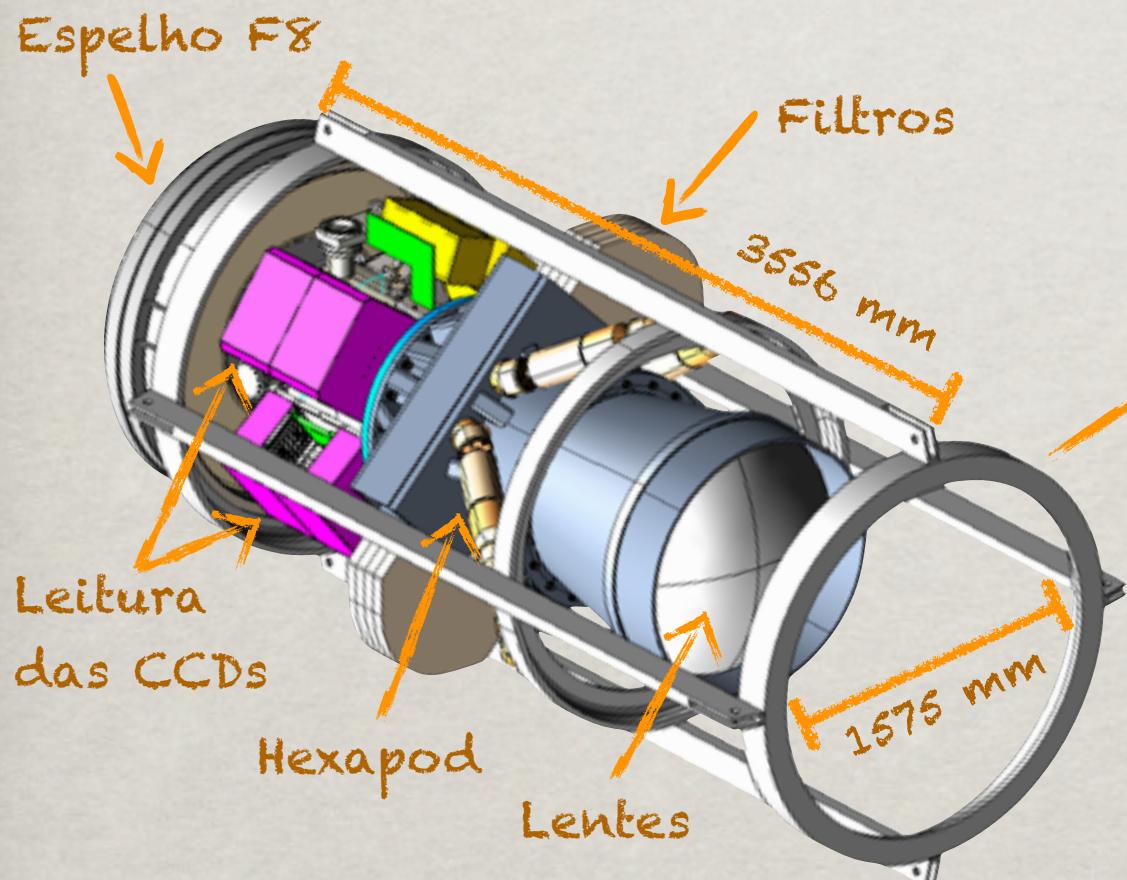


NOVO TIPO DE CCDs

- Objetivo: $z \sim 1$
- ~50% do tempo nos filtros $z+Y$ (825-1100nm)
- CCD comerciais
 - 20-40 mícrons de espessura
 - bom para 400nm
 - ruim para 900nm
- CCDs do LBNL
 - eficientes em 1000 nm (QE > 50%)
 - 250 mícrons de espessura
- Produzidas no LBNL, montadas no Fermilab
- Posteriormente utilizadas em outros projetos de cosmologia



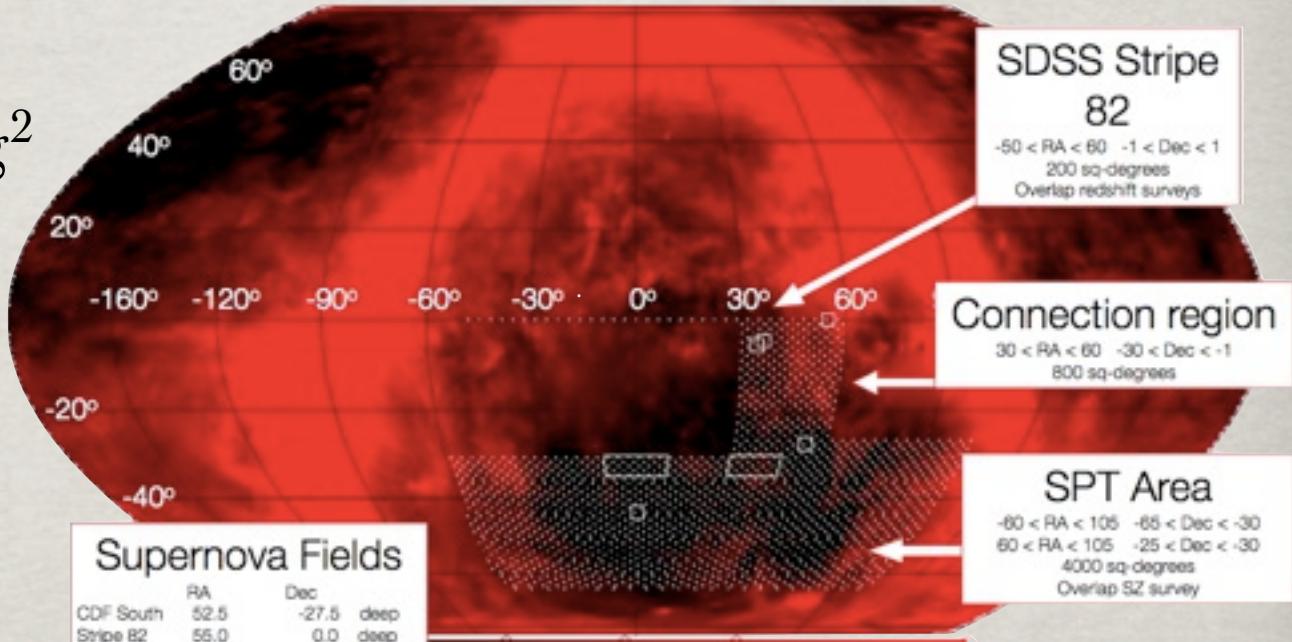
O INSTRUMENTO



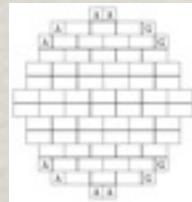
O SURVEY

Área: 5000 deg^2

- superposição com SPT (SZE)
- superposição com VISTA (VHS)



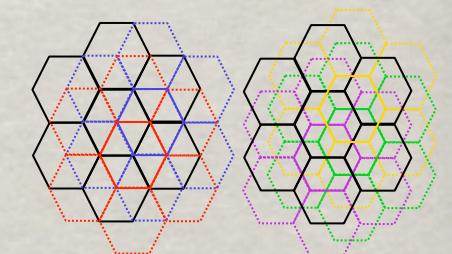
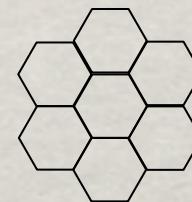
Campo de 3 deg^2 da DECam
(= 1 hex = 1 telha)



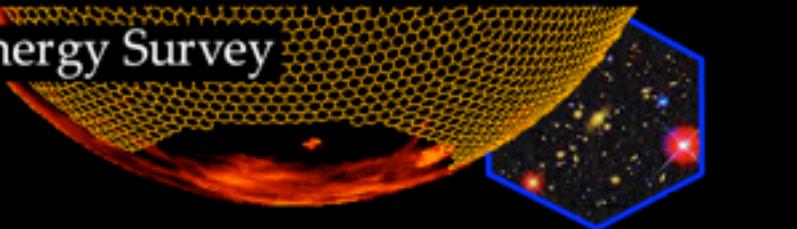
1 recobrimento

+2 recobrimentos

+3 recobrimentos

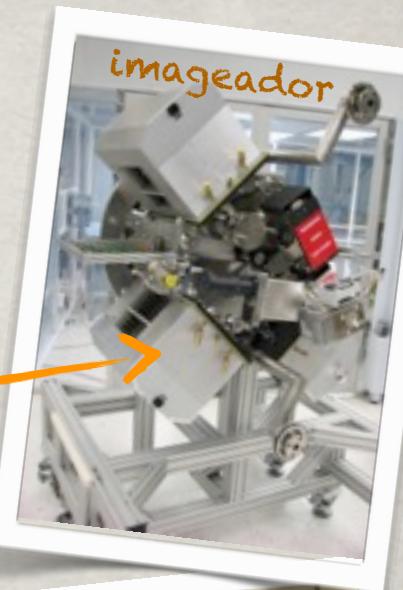


The Dark Energy Survey



O DES recobre 5000 deg^2 a uma taxa de 2 vezes por ano em cada banda.

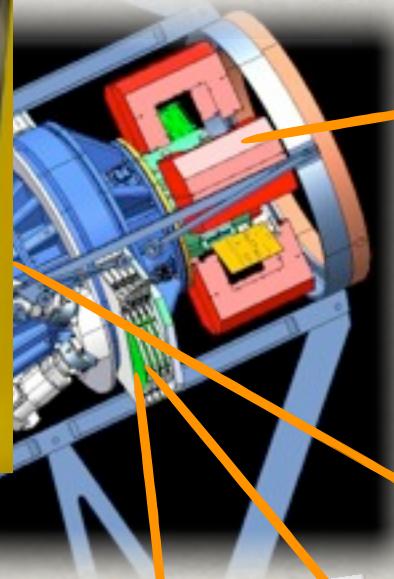
A DECAM EM CONSTRUÇÃO



A DECAM EM CONSTRUÇÃO



AM EM RUAÇÃO



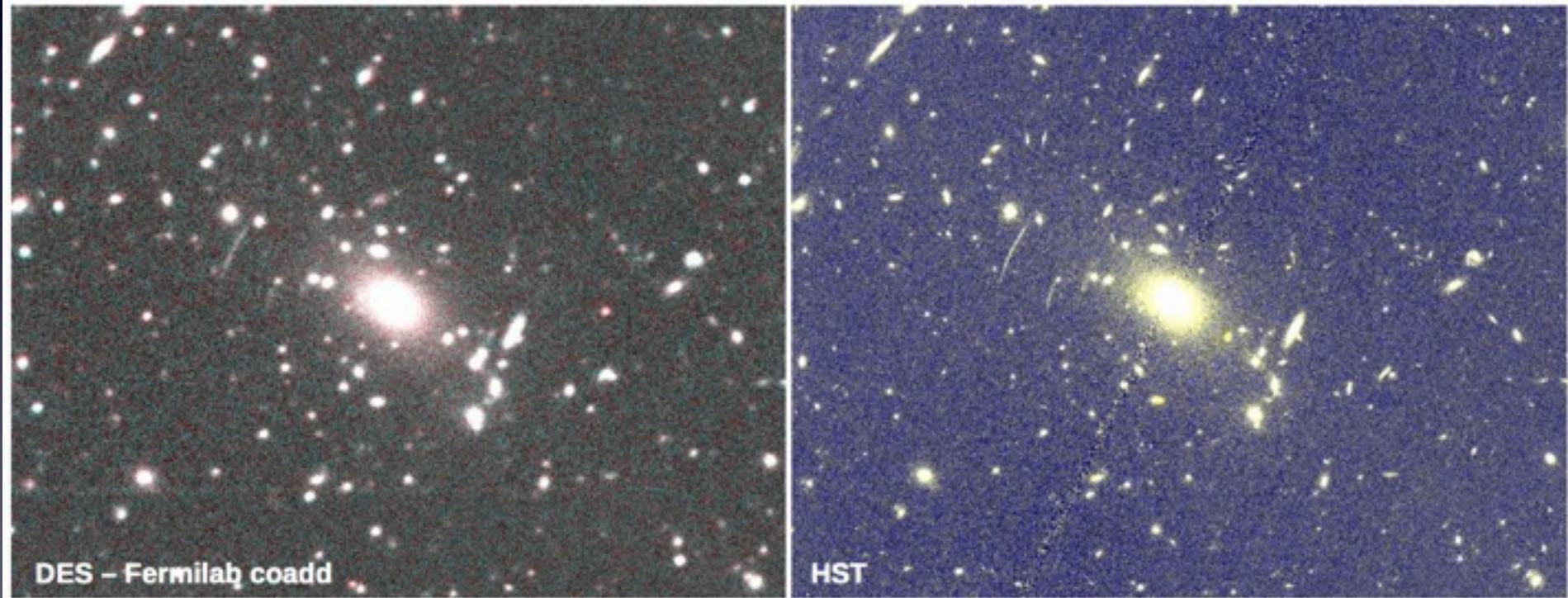
+eletrônica, resfriamento, vácuo, etc.



Arcos no DES

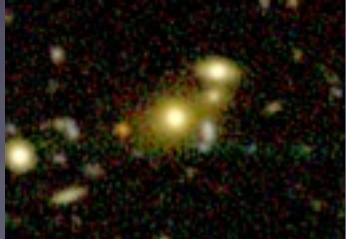
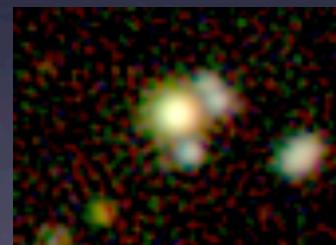
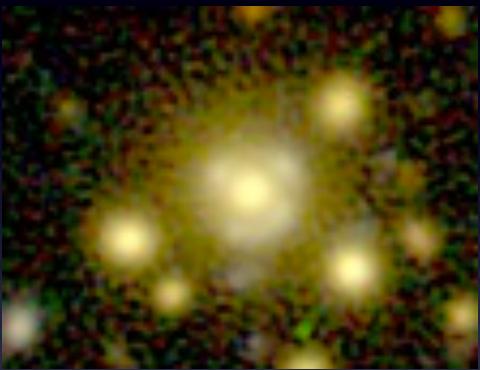
- Science Verification Data: Nov. 2012 - Feb. 2013, release 1, April 2013

RXJ_2248-4431



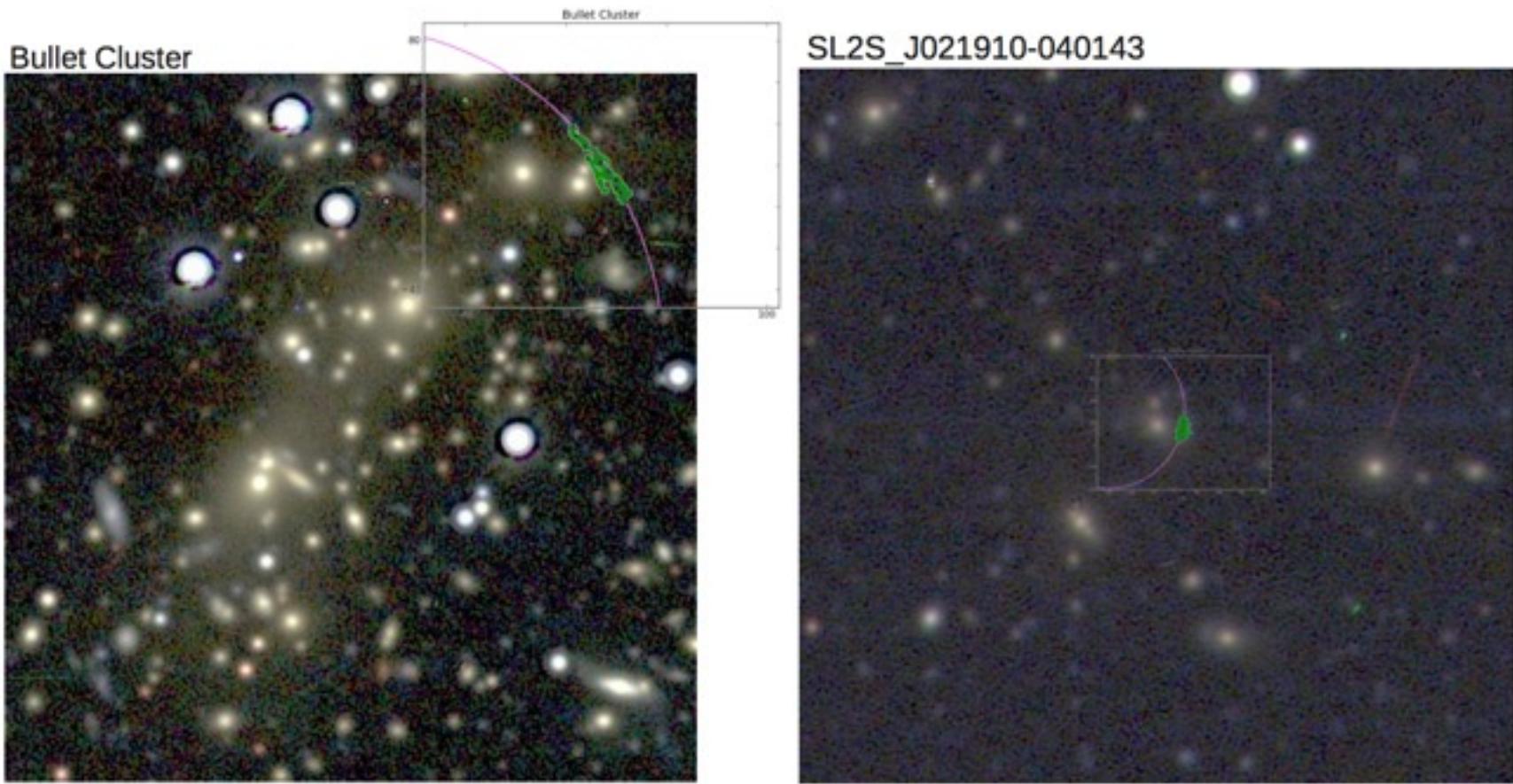
Arcos no DES

- Science Verification Data: Nov. 2012 - Feb. 2013, release I, April 2013

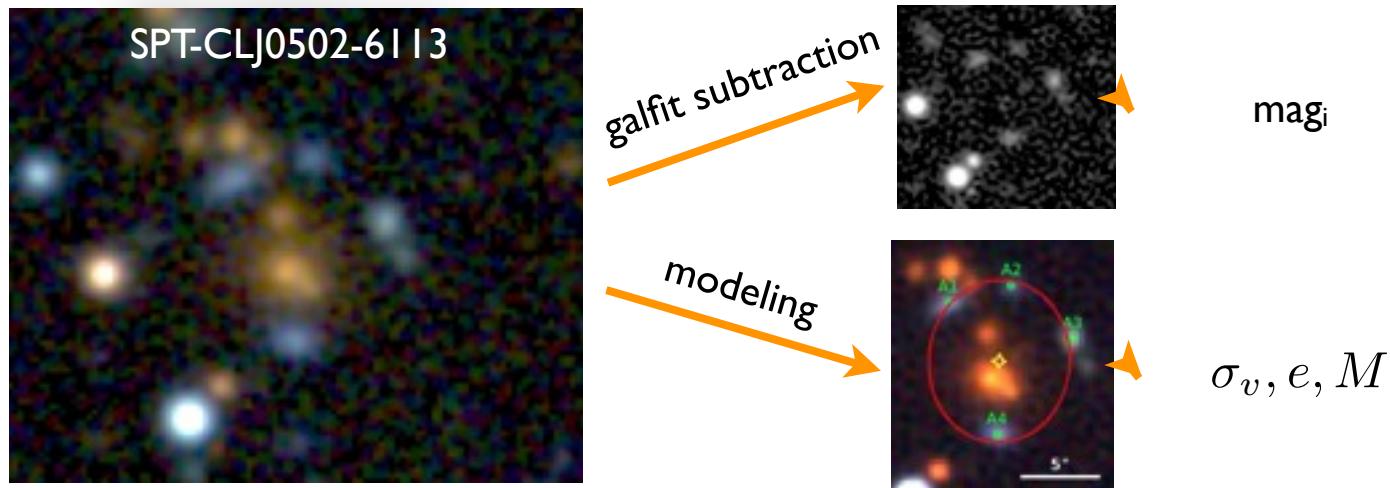


Visual Scan

Mediatrix



Inverse Modeling



$$\sigma_v = 635 \text{ km/s}$$



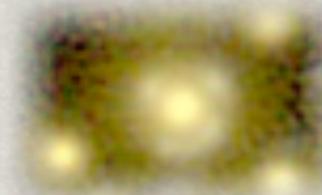
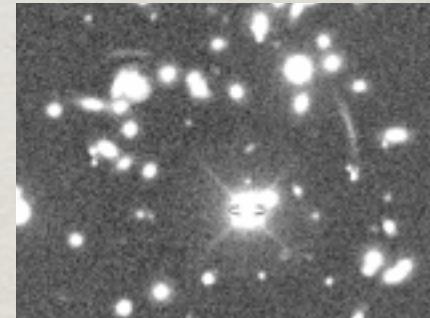
DARK ENERGY
SURVEY



DARK ENERGY
SURVEY

DARK ENERGY SURVEY

- CBPF: criação e co-coordenação do Strong Lensing Working Group
- Simulações de arcos para o DES:
AddArcs + PaintArcs/Arcfitting
- Caracterização e compração de buscadores automáticos de arcos
- Modelagem inversa
- Descoberta e modelamento de sistemas de arcos no DES (dezenas de sistemas encontrados nos dados de *Science Verification*)



PROJETOS NO CBPF

PROJETOS NO CBPF

- ▶ SOGRAS:
 - ▶ ciência
 - ▶ ótimo conjunto de testes para os novos projetos
- ▶ CS82:
 - ▶ abordagem pancromática de grande campo
 - ▶ preparando-se para a nova geração de levantamentos
- ▶ DES: melhor levantamento de imagens para a cosmologia do seu tempo
 - ▶ Já está colhendo dados (SV completado, início do survey agora)!
 - ▶ Como lidar com 5000 sq-deg?
- ▶ A ciência do lenteamento gravitacional requer follow-ups
 - ▶ Imageamento: AO on SOAR, Gemini, ESO...
 - ▶ Espectroscopia: Gemini, ESO...

Considerações Finais

- 🕒 última década: revolução na cosmologia com uma avalanche de dados observacionais de alta qualidade

Considerações Finais

- 🕒 última década: revolução na cosmologia com uma avalanche de dados observacionais de alta qualidade
Modelo padrão (partículas) + relatividade geral é insuficiente

Considerações Finais

- 🕒 última década: revolução na cosmologia com uma avalanche de dados observacionais de alta qualidade

Modelo padrão (partículas) + relatividade geral é insuficiente

O que compõe 96% do Universo??

Considerações Finais

- 🕒 última década: revolução na cosmologia com uma avalanche de dados observacionais de alta qualidade

Modelo padrão (partículas) + relatividade geral é insuficiente

O que compõe 96% do Universo??

→ Nova física a partir da cosmologia!

Considerações Finais

- 🕒 última década: revolução na cosmologia com uma avalanche de dados observacionais de alta qualidade

Modelo padrão (partículas) + relatividade geral é insuficiente

O que compõe 96% do Universo??

→ **Nova física a partir da cosmologia!**

- 🕒 Entendemos muita coisa sobre o Universo

Considerações Finais

- 🕒 última década: revolução na cosmologia com uma avalanche de dados observacionais de alta qualidade

Modelo padrão (partículas) + relatividade geral é insuficiente

O que compõe 96% do Universo??

→ **Nova física a partir da cosmologia!**

- 🕒 Entendemos muita coisa sobre o Universo
- 🕒 Há questões fundamentais que não entendemos ainda

Considerações Finais

- 🕒 última década: revolução na cosmologia com uma avalanche de dados observacionais de alta qualidade

Modelo padrão (partículas) + relatividade geral é insuficiente

O que compõe 96% do Universo??

→ **Nova física a partir da cosmologia!**

- 🕒 Entendemos muita coisa sobre o Universo
- 🕒 Há questões fundamentais que não entendemos ainda
- 🕒 Muitas novidades no futuro próximo!

Considerações Finais

- 🕒 última década: revolução na cosmologia com uma avalanche de dados observacionais de alta qualidade

Modelo padrão (partículas) + relatividade geral é insuficiente

O que compõe 96% do Universo??

→ **Nova física a partir da cosmologia!**

- 🕒 Entendemos muita coisa sobre o Universo
- 🕒 Há questões fundamentais que não entendemos ainda
- 🕒 Muitas novidades no futuro próximo!
- 🕒 Ainda há muito para se fazer... ☺

Considerações Finais

- 🕒 última década: revolução na cosmologia com uma avalanche de dados observacionais de alta qualidade

Modelo padrão (partículas) + relatividade geral é insuficiente

O que compõe 96% do Universo??

→ Nova física a partir da cosmologia!

- 🕒 Entendemos muita coisa sobre o Universo
- 🕒 Há questões fundamentais que não entendemos ainda
- 🕒 Muitas novidades no futuro próximo!
- 🕒 Ainda há muito para se fazer... ☺

O Brasil participa de grandes projetos atuais na área de cosmologia (DES, CS82, etc.):

Considerações Finais

- 🕒 última década: revolução na cosmologia com uma avalanche de dados observacionais de alta qualidade

Modelo padrão (partículas) + relatividade geral é insuficiente

O que compõe 96% do Universo??

→ Nova física a partir da cosmologia!

- 🕒 Entendemos muita coisa sobre o Universo
- 🕒 Há questões fundamentais que não entendemos ainda
- 🕒 Muitas novidades no futuro próximo!
- 🕒 Ainda há muito para se fazer... ☺

O Brasil participa de grandes projetos atuais na área de cosmologia (DES, CS82, etc.):

Possibilidade de realizar contribuições importantes

Considerações Finais

- 🕒 última década: revolução na cosmologia com uma avalanche de dados observacionais de alta qualidade

Modelo padrão (partículas) + relatividade geral é insuficiente

O que compõe 96% do Universo??

→ Nova física a partir da cosmologia!

- 🕒 Entendemos muita coisa sobre o Universo
- 🕒 Há questões fundamentais que não entendemos ainda
- 🕒 Muitas novidades no futuro próximo!
- 🕒 Ainda há muito para se fazer... ☺
- 🕒 ***O Brasil participa de grandes projetos atuais na área de cosmologia (DES, CS82, etc.):***

Possibilidade de realizar contribuições importantes

► Desafios/oportunidades: análise de dados, modelamento, simulações, teoria...