

ESTIMANDO A PRECISÃO DO J-PAS NA RESTRICÇÃO DE PARÂMETROS NO MODELO PADRÃO VIA MATRIZ DE FISHER

Felipe Damasceno
Orientador: Cássio Pigozzo

Inverno Astrofísico 2023
Universidade Federal da Bahia

Conteúdos

- 1 Apresentação
- 2 Cosmologia Observacional
 - Evolução do Universo e seus observáveis
 - Métodos Observacionais
 - Estruturas em larga escala
- 3 Espectro de Potência
 - Flutuações de densidade
 - Espectro de potência
- 4 Matriz de Fisher
- 5 Resultados
 - Implementação Computacional
 - Estimativas
 - Comparação entre os erros estimados
 - Comparação entre as restrições
- 6 Perspectivas

- 1 Apresentação
- 2 Cosmologia Observacional
 - Evolução do Universo e seus observáveis
 - Métodos Observacionais
 - Estruturas em larga escala
- 3 Espectro de Potência
 - Flutuações de densidade
 - Espectro de potência
- 4 Matriz de Fisher
- 5 Resultados
 - Implementação Computacional
 - Estimativas
 - Comparação entre os erros estimados
 - Comparação entre as restrições
- 6 Perspectivas



Figura: Instituto de Física da UFBA

- 1 Apresentação
- 2 Cosmologia Observacional
 - Evolução do Universo e seus observáveis
 - Métodos Observacionais
 - Estruturas em larga escala
- 3 Espectro de Potência
 - Flutuações de densidade
 - Espectro de potência
- 4 Matriz de Fisher
- 5 Resultados
 - Implementação Computacional
 - Estimativas
 - Comparação entre os erros estimados
 - Comparação entre as restrições
- 6 Perspectivas

Cosmologia Observacional

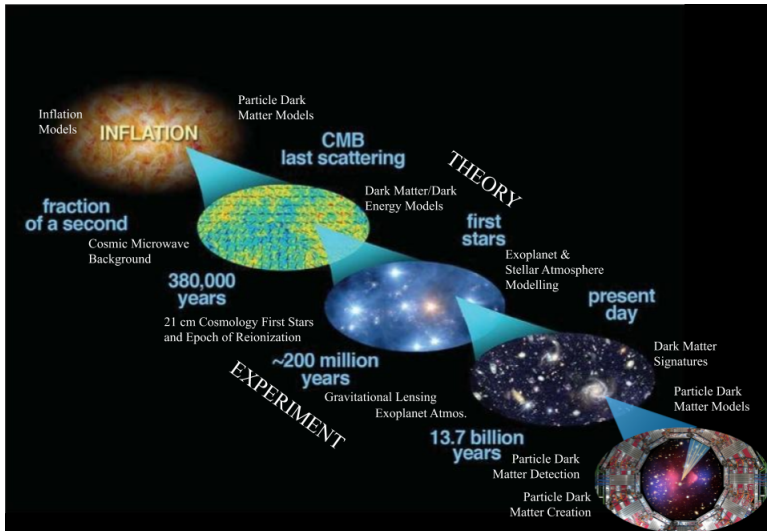


Figura: <https://www.brown.edu/academics/physics/news/2019/09/announcing-new-center-fundamental-physics-universe-cfpu>

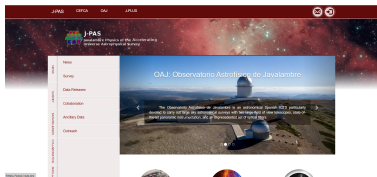
Existem cinco métodos observacionais que se destacam na obtenção de informações sobre as propriedades do Universo:

- Supernovas do tipo Ia
- Radiação cósmica de fundo (CMB)
- **Estruturas em larga escala (LSS)**
- Lentes fracas
- Aglomerados de galáxias

Estruturas em larga escala

Projetos voltados para a observação de objetos em larga escala como galáxias e quasares, com o objetivo de obter a distribuição de matéria no Universo. Eles são divididos entre duas técnicas de observação

Fotometria e Espectroscopia.



(a) JPAS



EUCLID DEEP FIELDS

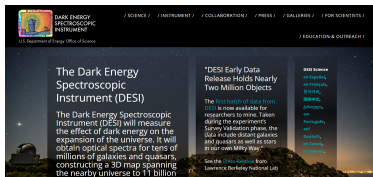
The location of the three Euclid deep fields have been selected by the Euclid Sky Survey Working Group of the Euclid Consortium. These three dark patches of the sky will be the subject of the mission's deepest observations, aiming at exploring faint objects in the early Universe as well as assessing the purity of the spectroscopic observations in the Wide Survey.

The position of the Euclid Deep Fields – one in the northern sky and two in the southern sky – was announced during the 2019 annual consortium meeting in Helsinki, Finland.

See ESA web story on: [Three dark fields for Euclid's deep survey](#)

The Euclid Deep Field North – highlighted in yellow, towards the top left in this view – has an area of 23 square degrees and is located very close to the Northern Galactic Pole, in the constellation Draco, the dragon. The proximity to the galactic pole ensures maximum coverage throughout the year; the exact position was chosen to obtain maximum overlap with one of the deep fields announced by ESA's cultural ambassador, the historic space broadcaster.

(b) EUCLID



(c) DESI

- 1 Apresentação
- 2 Cosmologia Observacional
 - Evolução do Universo e seus observáveis
 - Métodos Observacionais
 - Estruturas em larga escala
- 3 Espectro de Potência
 - Flutuações de densidade
 - Espectro de potência
- 4 Matriz de Fisher
- 5 Resultados
 - Implementação Computacional
 - Estimativas
 - Comparação entre os erros estimados
 - Comparação entre as restrições
- 6 Perspectivas

Flutuações de densidade

Equação que descreve o crescimento de pequenas **flutuações de densidade de matéria**:

$$\ddot{\delta}_m + 2H\dot{\delta}_m - 4\pi G\rho_m\delta_m = 0 \quad (1)$$

Onde:

$$\delta_m = \frac{\varepsilon_m - \bar{\varepsilon}_m}{\bar{\varepsilon}_m} \quad (2)$$

Fazendo a expansão de δ em componentes de Fourier:

$$\delta_{\vec{k}} = \frac{1}{V} \int \delta(\vec{r}) e^{i\vec{k}\vec{r}} d^3r \quad (3)$$

No espaço de Fourier, qualquer função quadrática de uma variável de perturbação é chamado **espectro de potência**, assim:

$$P_{\delta}(k) = A|\delta_k|^2 \quad (4)$$

Seção atual

- 1 Apresentação
- 2 Cosmologia Observacional
 - Evolução do Universo e seus observáveis
 - Métodos Observacionais
 - Estruturas em larga escala
- 3 Espectro de Potência
 - Flutuações de densidade
 - Espectro de potência
- 4 Matriz de Fisher
- 5 Resultados
 - Implementação Computacional
 - Estimativas
 - Comparação entre os erros estimados
 - Comparação entre as restrições
- 6 Perspectivas

Função Likelihood

A ideia é direta, aproximamos uma função Likelihood com uma **distribuição gaussiana**:

$$L \approx N \exp \left[-\frac{1}{2} (\theta_i - \hat{\theta}_i) F_{ij} (\theta_j - \hat{\theta}_j) \right] \quad (5)$$

Expandindo o expoente dessa função em torno do pico:

$$\ln L(\theta_i) \approx \ln L(\hat{\theta}_i) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \ln L(\theta_i)}{\partial \theta_i \partial \theta_j} \Big|_{\text{ML}} (\theta_i - \hat{\theta}_i) (\theta_j - \hat{\theta}_j)$$

E finalmente, a matriz de Fisher é definida:

$$F_{ij} \equiv - \left\langle \frac{\partial^2 \ln L(\theta_i)}{\partial \theta_i \partial \theta_j} \right\rangle = - \int \frac{\partial^2 \ln L(\theta)}{\partial \theta_i \partial \theta_j} L(\mathbf{x}; \theta) d\mathbf{x} \quad (6)$$

Matriz de Fisher

Essa é a cara da matriz de Fisher que utilizamos para mais de um traçador e foi obtida na referência [1]:

$$F_{ij}(z) = \sum_{X,Y=1}^N \frac{1}{4\pi^2} \int_{-1}^1 d\mu' \int_{k'_{\min}}^{k'_{\max}} dk' k'^2 V_a(z) \frac{d \ln \hat{P}_{X,\text{obs}}(k', z, \mu')}{dp_i} \hat{F}_{XY} \frac{d \ln \hat{P}_{Y,\text{obs}}(k', z, \mu')}{dp_j} \\ \times \exp \left[-k'^2 (1 - \mu'^2) \Sigma_{\perp}^2(z) - k'^2 \mu'^2 \Sigma_{\parallel}^2(z) \right]$$

Aqui (X,Y) varrem os traçadores LRG, ELG ou QSO, de 0 a 2. E, a função espectro de potência observado:

$$P_{\text{obs}}(k_{\perp}^{\text{fid}}, k_{\parallel}^{\text{fid}}, z) = \alpha_{\perp}^2 \alpha_{\parallel} \left[b_s(z) + f_s(z) \left(\frac{k_{\parallel}^{2,\text{fid}} + \alpha_{\parallel}^2}{k_{\parallel}^{2,\text{fid}} \alpha_{\parallel}^2 + k_{\perp}^{2,\text{fid}} \alpha_{\perp}^2} \right) \right]^2 + \frac{P_{L,0}}{\sigma_{8,0}^2} \exp \left(-k^2 \mu^2 \frac{\sigma_z^2}{\alpha_{\parallel}^2 H^2, \text{fid}} \right) + P_{\text{shot}}$$

- 1 Apresentação
- 2 Cosmologia Observacional
 - Evolução do Universo e seus observáveis
 - Métodos Observacionais
 - Estruturas em larga escala
- 3 Espectro de Potência
 - Flutuações de densidade
 - Espectro de potência
- 4 Matriz de Fisher
- 5 Resultados
 - Implementação Computacional
 - Estimativas
 - Comparação entre os erros estimados
 - Comparação entre as restrições
- 6 Perspectivas

Implementação do método

Sobre a implementação do código:

- Estamos trabalhando em um **código independente**;
- Obtivemos a função espectro de potência da matéria a partir do modulo do CAMB;
- Nossa matriz completa tem 10 parâmetros:
 $\{ \ln D_A, \ln H, f_s, b_{s1}, b_{s2}, b_{s3}, P_{shot}, \Omega_m, h, n_s \}$;
- Para cada termo da matriz fazemos a derivada do $\ln P_{obs}$ com relação ao parâmetro.

Dados estimados

Para a estimativa dos dados utilizamos as previsões das colaborações:

Sonda	z_{max}, z_{min}	Área estimada($grau^2$)	σ_z
JPAS	0.3,3.7	4000-8500	$0.003(1+z)$
DESI	0.1,1.7	14000	$0.0005(1+z), 0.001(1+z)$
EUCLID	1,1.65	15000	$0.001(1+z)$

Tabela: Especificações dos equipamentos

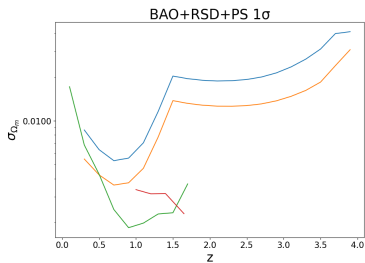
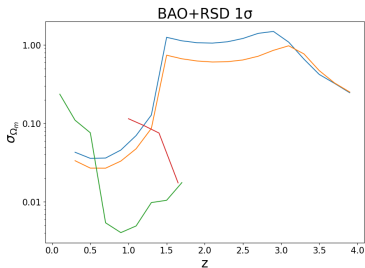
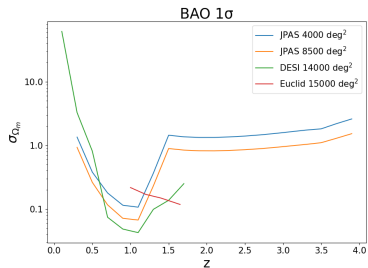
Trabalhando com as matrizes

Para obter nossas matrizes para os diferentes cenários, foi preciso realizar algumas operações:

Se, por exemplo, nossa intenção é analisar apenas informações de **BAO**, para $\{\Omega_m, h\}$:

- 1 Obter a matriz 10x10, 9x9 ou 8x8, a depender do bin;
- 2 **Marginalizamos** sobre $\{f_s, b_{s_i}, P_{shot}, \Omega_m, h, n_s\}$;
- 3 **Projetamos** a matriz, em cada bin, nos parâmetros que estamos analisando $\{\Omega_m, h\}$;
- 4 E, para as elipses de confiança somamos as matrizes em cada bin de z .

Resultados



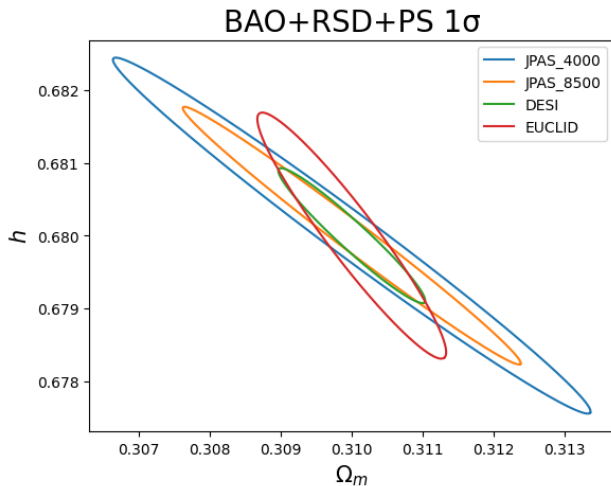


Figura: Contorno de 1σ em torno de $\Omega_m = 0.31$ e $h = 0.68$

- 1 Apresentação
- 2 Cosmologia Observacional
 - Evolução do Universo e seus observáveis
 - Métodos Observacionais
 - Estruturas em larga escala
- 3 Espectro de Potência
 - Flutuações de densidade
 - Espectro de potência
- 4 Matriz de Fisher
- 5 Resultados
 - Implementação Computacional
 - Estimativas
 - Comparação entre os erros estimados
 - Comparação entre as restrições
- 6 Perspectivas

- Estender o código para o modelo de Early Dark Energy e estimar a precisão do JPAS em restringir os parâmetros desse modelo;
- Entender o que pode ter gerado a divergência nas estimativas do EUCLID;

Agradecimento

Obrigado pela atenção.

- 1 Salzano, Vincenzo et al. J-PAS: forecasts on interacting vacuum energy models. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, Volume 2021.
- 2 Ryden, Barbara. *Introduction to Cosmology*. Addison-Wesley, 2006.
- 3 Amendola, Luca. *Dark Energy: Theory and Observations*. Cambridge University Press, 2010.