

Investigating the Right Behaviour to Resolve Cosmological Tensions

Igor de Oliveira Cardoso Pedreira

Universidade Federal Fluminense, Departamento de Física
Inverno Astrofísico 2023

31/07/2023 - 05/08/2023

O Modelo Padrão

- O modelo padrão da cosmologia, conhecido como modelo Λ CDM, é um modelo que utiliza 6 parâmetros para fazer suas previsões. Ele descreve um universo composto por $\sim 70\%$ de energia escura e $\sim 30\%$ de matéria.
- Com as equações do modelo padrão da cosmologia, é possível utilizar as condições iniciais do universo inferidas pela CMB para fazer previsões sobre toda a história posterior do nosso universo.
- Tais previsões podem ser comparadas com outras medidas, como Oscilações Acústicas de Bárions (BAO), observações de estruturas em largas escalas e medidas de supernovas tipo Ia.

- Entretanto, algumas observações locais apresentam incongruências com os valores obtidos ao se utilizar o modelo padrão.
- Essas medidas locais são menos dependentes de um modelo cosmológico, mas são muito dependentes de modelos astrofísicos.
- Isso dá origem a duas tensões que são muito importantes atualmente: a tensão em H_0 e a tensão em σ_8

O parâmetro H_0

- O parâmetro H_0 está relacionado com a taxa de expansão atual do nosso universo.
- Ele depende de toda a evolução do universo, de modo que depende dos outros parâmetros cosmológicos.
- O valor desta constante pode ser inferido pelos dados da CMB, considerando o modelo Λ CDM: $H_0 = 67.72 \pm 0.41 \text{ km/s/Mpc}$ [1].
- Entretanto, medidas locais feitas pelo SHOES, as quais são menos dependentes da suposição de um modelo cosmológico, indicam o valor: $H_0 = 73.24 \pm 1.74 \text{ km/s/Mpc}$ [3].
- Isso representa uma tensão da ordem de $4\sigma - 6\sigma$.

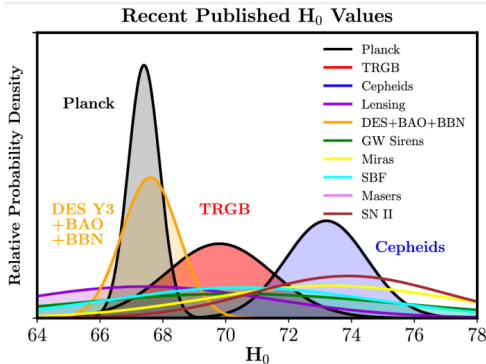


Figura 1: Comparação dos valores de H_0 em relação a diferentes experimentos.¹

¹Figura retirada de <https://arxiv.org/abs/2305.19437>

O parâmetro σ_8

- σ_8 é um parâmetro que dá informação de como as flutuações de matéria cresceram desde o universo primordial.
- Ele é medido ao tomar o espectro de potência da matéria em uma escala de $8h^{-1}Mpc$.
- Com os dados da CMB, utilizando o modelo padrão, obtemos:
 $\sigma_8 = 0.8099 \pm 0.0059$ [1].
- Entretanto, medidas de estruturas em grandes escalas feitas pelo Kilo-Degree Survey (KiDS-1000) vinculam um valor
 $\sigma_8 = 0.766^{+0.021}_{-0.024}$ [2].
- Isso representa uma tensão na ordem de $3\sigma - 4\sigma$.

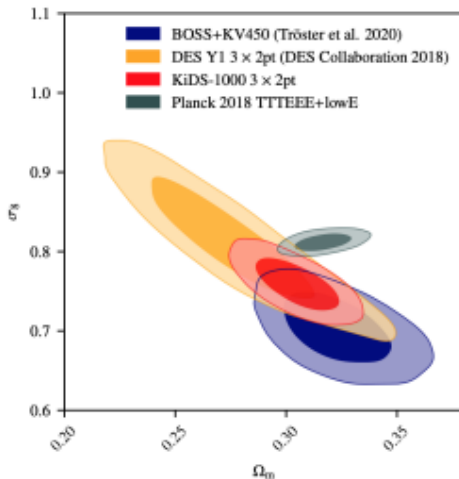


Figura 2: Gráfico de contorno com regiões de confiança de 65% e 95% para σ_8 e Ω_M .²

Metodologia

- Ao tentar aliviar a tensão em H_0 , os principais modelos presentes na literatura tendem a piorar a tensão em σ_8 .
- Propomos um método para analisar a performance de diversos modelos presentes na literatura em respeito a ambas as tensões.
- Cada modelo irá contar com um novo parâmetro, que será fixado em diferentes valores.
- Isso será feito a fim de evitar um aumento das incertezas de cada parâmetro, como pode ocorrer ao deixar o parâmetro extra livre. [4].

- Ao variar esses parâmetros, estaremos interessados em como H_0 e σ_8 variam.
- Isso nos dará uma relação entre o parâmetro característico e essa mudança com respeito a valor do modelo padrão.
- A performance de cada cenário será então quantificada com respeito ao ângulo que a curva correspondente faz com o "Modelo Ideal". Colocaremos esses resultados em um gráfico do tipo ΔH_0 e $\Delta \sigma_8$.
- Para ilustrar essa ferramenta, escolhemos inicialmente 4 modelos que consideram extensões ao modelo cosmológico padrão.

Modelos Seleccionados

- ⇒ Número extra de espécies relativísticas (N_{eff}).
- ⇒ Phantom Dark Energy (ω_{DE}).
- ⇒ Early Dark Energy (f_{EDE}).
- ⇒ Non-minimal Higgs inflation (\mathcal{N}).

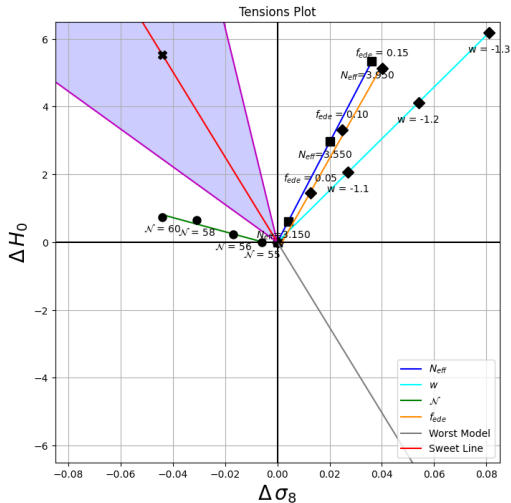


Figura 3: Gráfico de ΔH_0 vs $\Delta \sigma_8$ para diferentes modelos.

- Nosso objetivo com esse trabalho é fazer uma nova forma de classificar modelos que propões uma solução para aliviar um desses problemas da cosmologia moderna.
- A próxima etapa será encontrar o ângulo que cada curva faz com a curva ideal.
- Iremos incluir mais modelos, para estudar possíveis padrões no gráfico.
- Estamos interessados em checar como diferentes classes de modelos atuam frente às tensões, e quais características em comum eles possuem.
- Este tipo de gráfico pretende servir como uma ferramenta para auxiliar na classificação e comparação de grandes quantidades de modelos.

- [1] AGHANIM, N., ET AL.
Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters.
Astron. Astrophys. 641 (2020), A6.
[Erratum: *Astron. Astrophys.* 652, C4 (2021)].
- [2] ASGARI, M., ET AL.
KiDS-1000 Cosmology: Cosmic shear constraints and
comparison between two point statistics.
Astron. Astrophys. 645 (2021), A104.
- [3] RIESS, A. G., ET AL.
A Comprehensive Measurement of the Local Value of the
Hubble Constant with $1 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ Uncertainty from the
Hubble Space Telescope and the SHOES Team.
Astrophys. J. Lett. 934, 1 (2022), L7.

- [4] VAGNOZZI, S.
New physics in light of the H_0 tension: An alternative view.
Phys. Rev. D 102, 2 (2020), 023518.