
PROJETO DE PESQUISA

Programa de Iniciação Científica e Tecnológica – CBPF

Nome do Orientador e Coordenação (Pesquisador/Tecnologista/Pós-doc):

Guilherme Brando de Oliveira

Nome do pesquisador ou tecnologista e Instituição de Pesquisa Externa: (Coorientador ou Colaborador externo, se houver):

Nome do Supervisor e Coordenação: (Pesquisador/Tecnologista):

Guilherme Brando de Oliveira - COSMO

Título do Projeto:

A natureza da formação de estruturas no Universo em cenários além-Modelo Padrão da Cosmologia

Palavra-chave:

Cosmologia

Área de conhecimento:

Física

Pré-requisitos desejáveis (se houver):

Introdução à Cosmologia, noções básicas de programação

Pré-requisitos obrigatórios (se houver):

Relatividade Geral

Possibilidade de orientação remota:

() Sim

(x) Não

Rio de Janeiro, 19 de Fevereiro de 2026

PROJETO:

Título:

A natureza da formação de estruturas no Universo em cenários além-Modelo Padrão da Cosmologia

Resumo:

Este projeto convida o(a) estudante a ingressar em um tema central da cosmologia contemporânea: a **formação de estruturas no Universo** em cenários além do modelo padrão **Λ CDM**. O foco será o estudo de **teorias de gravitação modificada** como possíveis explicações para a aceleração da expansão cósmica.

O(A) estudante terá a oportunidade de aprender e aplicar o formalismo de **teoria de perturbações lagrangeana**, implementando métodos numéricos para resolver **equações diferenciais acopladas** que descrevem o crescimento de estruturas. O projeto envolve o desenvolvimento de **códigos computacionais próprios**, permitindo investigar como novas interações gravitacionais alteram a evolução do Universo.

Os resultados obtidos serão comparados com o modelo padrão e com medições observacionais de levantamentos modernos de galáxias, como o **Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI)**, conectando diretamente teoria e observação.

Ao longo do projeto, o(a) estudante desenvolverá formação sólida em **cosmologia teórica**, **métodos numéricos avançados** e **física computacional**, participando ativamente de um problema atual de pesquisa na fronteira do conhecimento.

Introdução:

Nas últimas décadas, a Cosmologia tornou-se uma **ciência de precisão**, impulsionada por levantamentos de galáxias e medições da **radiação cósmica de fundo**. A descoberta da **expansão acelerada do Universo** revelou a presença da **energia escura**, cuja natureza permanece um dos principais desafios da física fundamental.

No modelo padrão **Λ CDM**, a gravitação é descrita pela **Relatividade Geral**, e a energia escura é representada por uma **constante cosmológica Λ** . Embora esse modelo descreva com sucesso diversas observações, a origem física da constante cosmológica ainda é desconhecida, motivando o estudo de alternativas.

Entre elas destacam-se as **teorias de gravitação modificada**, que introduzem novos **graus de liberdade**, frequentemente na forma de **campos escalares**. Levantamentos como o **DESI** permitem testar esses modelos por meio de medições da **expansão cósmica** e do **crescimento de estruturas**.

Em grandes escalas, a formação de estruturas pode ser descrita por **teoria de perturbações**, particularmente no formalismo **lagrangeano**, baseado em um **campo de deslocamento**. Em cenários de gravitação modificada, as equações tornam-se **sistemas diferenciais acoplados com dependência em escala**, exigindo **métodos numéricos** para sua solução.

Objetivos:

Estudar o crescimento de estruturas em teorias de gravitação modificada utilizando teoria de perturbações Lagrangeana, com foco na solução numérica de equações diferenciais acopladas que descrevem os fatores de crescimento.

Objetivos específicos

- Estudar os fundamentos da cosmologia moderna e da formação de estruturas;
- Compreender o formalismo de teoria de perturbações lagrangeana;
- Implementar numericamente equações diferenciais ordinárias relevantes;
- Desenvolver códigos computacionais científicos;
- Analisar o impacto de gravitação modificada no crescimento de estruturas;
- Comparar resultados com o modelo padrão Λ CDM.

Metodologia

O projeto será desenvolvido por meio de uma combinação estruturada de **estudo teórico e implementação computacional orientada**. Inicialmente, o(a) aluno(a) estudará os fundamentos da **cosmologia moderna**, com ênfase na **formação de estruturas** e no formalismo de **teoria de perturbações**, particularmente na abordagem **lagrangeana**.

Na etapa seguinte, serão analisadas as **equações diferenciais ordinárias** que governam os **fatores de crescimento** das perturbações, tanto no modelo padrão Λ CDM quanto em cenários de **gravitação modificada**, destacando as diferenças introduzidas pela presença de novos graus de liberdade gravitacionais.

Essas equações serão implementadas numericamente utilizando **linguagens de programação científica**, como **Python** ou **C++**, e resolvidas por meio de métodos consolidados de **integração numérica de equações diferenciais**. O(a) aluno(a)

desenvolverá e validará códigos científicos próprios, analisando a estabilidade e a consistência dos resultados obtidos.

Por fim, será realizada uma investigação quantitativa de como teorias de **gravitação modificada** alteram o crescimento de estruturas em comparação com o modelo padrão, permitindo uma análise física clara dos efeitos introduzidos por esses modelos alternativos.

Resultados esperados

Ao final do projeto, espera-se que o(a) aluno(a):

- Adquirir formação sólida em **cosmologia teórica e formação de estruturas no Universo**;
- Seja capaz de implementar, testar e interpretar **métodos numéricos para a solução de equações diferenciais ordinárias**;
- Desenvolva experiência consistente em **programação científica** e modelagem computacional aplicada à física;
- Compreenda os efeitos de **teorias de gravitação modificada** sobre o crescimento de estruturas;
- Seja capaz de realizar **análises comparativas** entre modelos alternativos e o modelo padrão **Λ CDM**, interpretando seus impactos físicos e observacionais.

Espera-se ainda que o projeto resulte na elaboração de **relatórios técnicos e científicos**, podendo evoluir para apresentações em eventos acadêmicos e eventual continuidade em **projetos de pesquisa de maior complexidade**, incluindo iniciação à produção científica formal.

Referências:

- + DESI DR2 Results II: Measurements of Baryon Acoustic Oscillations and Cosmological Constraints
<https://arxiv.org/abs/2503.14738>
- + Cosmological Tests of Modified Gravity
<https://arxiv.org/abs/1504.04623>
- + Large-Scale Structure of the Universe and Cosmological Perturbation Theory
<https://arxiv.org/abs/astro-ph/0112551>
- + Cosmological N-Body simulation: Techniques, Scope and Status
<https://arxiv.org/abs/astro-ph/0112551>