

Teorias Alternativas de Gravitação - Implicações nos Estudos de Ondas Gravitacionais

Mariana Cunha Costa

Orientada por: Dr. José Carlos N. de Araujo

Co-orientada por: Dr. Márcio Alves

INPE

2 de maio de 2016

Relatividade Geral e Teorias de Gravitação Alternativas

- ▶ R.G. \Rightarrow bem-sucedida nos testes até então.
- ▶ A R.G. não é uma teoria quantizável;
- ▶ Não há consenso sobre a interpretação física da constante cosmológica.
- ▶ Espaço para se considerar T.A. no estudo de sistemas físicos.

- ▶ Ondas Gravitacionais \Rightarrow emitidas em regimes de campo forte.
- ▶ Podem apresentar diferenças a depender da teoria de gravitação considerada.
- ▶ Fundos de Ondas Gravitacionais Primordiais
- ▶ Informações sobre épocas remotas do Universo.

- ▶ Estudo de **Teorias Alternativas de Gravitação**:
- ▶ **Fundos de Ondas Gravitacionais Primordiais**;
- ▶ **Resolução das equações de campo** \Rightarrow Fundos cosmológicos de O.G.s na Teoria de Visser e em Teorias Escalares Tensoriais.
- ▶ Analisar soluções quando consideramos **modos extras de polarização** das ondas gravitacionais.

Considerando um universo plano modelado pela métrica de FRW adicionado a uma perturbação $\delta g_{\mu\nu}$, tem-se o elemento de linha:

$$ds^2 = ({}^0g_{\mu\nu} + \delta g_{\mu\nu}(x^\rho)) dx^\mu dx^\nu; \quad (1)$$

► sendo a métrica de fundo:

$${}^0g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu = a^2(\eta)(d\eta^2 - \delta_{ij} dx^i dx^j), \quad (2)$$

► η é o tempo conforme $\Rightarrow a(\eta)d\eta = dt$.

Decomposição das Perturbações em Teorias Alternativas

- ▶ Componentes **escalar**, **vetorial** e **tensorial** das perturbações da métrica:

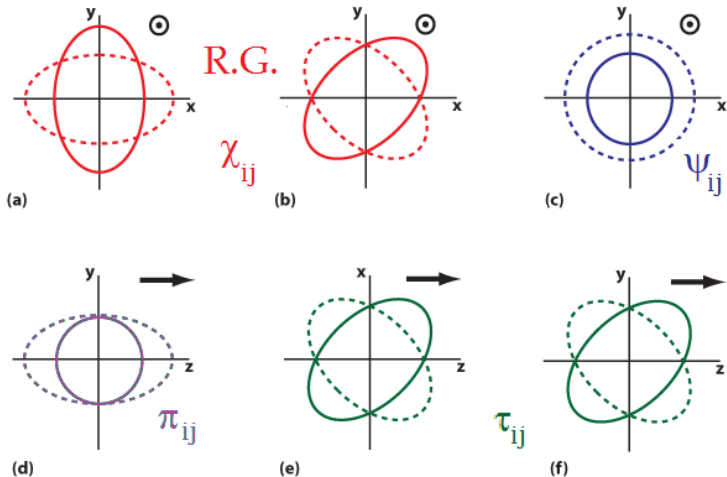
$$\delta g_{\mu\nu}^E = a^2 \begin{pmatrix} \phi & \partial_i B \\ \partial_i B & h_{ij}^E \end{pmatrix}; \quad (3)$$

$$\delta g_{\mu\nu}^V = a^2 \begin{pmatrix} 0 & S_i \\ S_i & h_{ij}^V \end{pmatrix}; \quad (4)$$

$$\delta g_{\mu\nu}^T = a^2 \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & h_{ij}^T \end{pmatrix}. \quad (5)$$

- ▶ $\delta g_{ij} \Rightarrow h_{ij} \Rightarrow$ **seis modos de polarização** independentes:
 - ▶ Dois com helicidade $S = 0$ (“**escalares**”);
 - ▶ Dois com helicidades $S = 1$ e $S = -1$ (“**vetoriais**”);
 - ▶ Dois com helicidades $S = 2$ e $S = -2$ (“**tensoriais**”).

Polarização das Ondas Gravitacionais



(Adaptada de: [Gair et al., 2013.](#))

Equações de Einstein Perturbadas em Teorias Alternativas

Para incluir os **6 modos independentes de polarização**¹
(Alves et al., 2010):

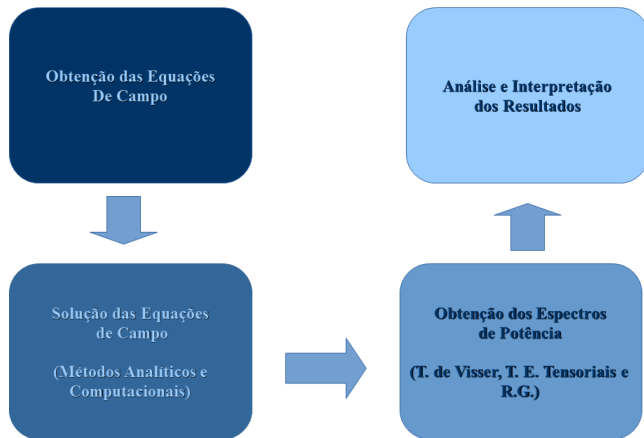
$$G_{\mu\nu} + F_{\mu\nu} = -8\pi G T_{\mu\nu}; \quad (6)$$

As equações perturbadas ficam:

$$\delta G_{\mu\nu} + \delta F_{\mu\nu} = -8\pi (\delta G T_{\mu\nu} + G \delta T_{\mu\nu}). \quad (7)$$

¹assinatura da métrica de fundo $\Rightarrow (-, +, +, +)$

- ▶ Soluções de equações de campo considerando **modos extras não têm sido exploradas**;
- ▶ Extensão de trabalho desenvolvido no grupo ([Alves et al.,2010](#)).
- ▶ Formalismo empregado \Rightarrow **aplicável a qualquer T.A.**



- ▶ Etapa em andamento:
 - ▶ Obtenção das Equações de Campo.
- ▶ **Cálculos extensos.**

- Obtivemos a variação do tensor de Einstein δG_{μ}^{ν} :

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta G_0^0 = \frac{1}{2a^2} [\bar{h}_0^{0''} - \nabla^2 \bar{h}_0^0 + 2H\bar{h}_0^{0'} - 3(3H^2 - H') \bar{h}_0^0 \\ \quad + (H^2 - H') \bar{h}_k^k - 4H\partial_k \bar{h}_0^k]; \\ \delta G_0^i = \frac{1}{2a^2} [\bar{h}_0^{i''} - \nabla^2 \bar{h}_0^i + 2H\bar{h}_0^{0'} + 2(H^2 - 3H') \bar{h}_0^i \\ \quad - 2H\eta^{ik} (\partial_k \bar{h}_0^0 - \partial_l \bar{h}_l^k)]; \\ \delta G_i^j = \frac{1}{2a^2} [\bar{h}_i^{j''} - \nabla^2 \bar{h}_i^j + 2H\bar{h}_i^{j'} - (5H^2 - H') \bar{h}_k^k \delta_i^j \\ \quad + 3(3H^2 - H') \bar{h}_0^0 \delta_i^j + 2H\eta^{jk} (\partial_i \bar{h}_{k0} + \partial_k \bar{h}_{i0})]. \end{array} \right. \quad (8)$$

- ▶ Ao fim dos cálculos, devemos obter um sistema de equações semelhante ao obtido por (Alves, 2009).
- ▶ Solução do sistema de equações diferenciais \Rightarrow métodos analíticos e computacionais.

- ▶ Resultados Esperados:
 - ▶ Espectros de potência considerando os modos extras;
 - ▶ Comparação com curvas de sensibilidade de detectores em funcionamento.
- ▶ Já se mostrou ser possível a separação do sinal de fundos de O.G.s por modos de polarização ([Nishizawa et al., 2009](#));
- ▶ Futuramente, trabalhos nesta linha poderão ser úteis para testes de teorias de gravitação.

Obrigada pela atenção!