

# MECANISMOS DE FORMAÇÃO DAS BINÁRIAS DE BURACOS NEGROS DETECTADAS PELO LIGO

Pietra Rafaela Fornasa

Orientadores: Dr. César Augusto Costa

Dr. Riccardo Sturani

INPE

08 de maio de 2018

1 Mestrado

2 Doutorado

1 Mestrado

2 Doutorado

# Evolução Estelar

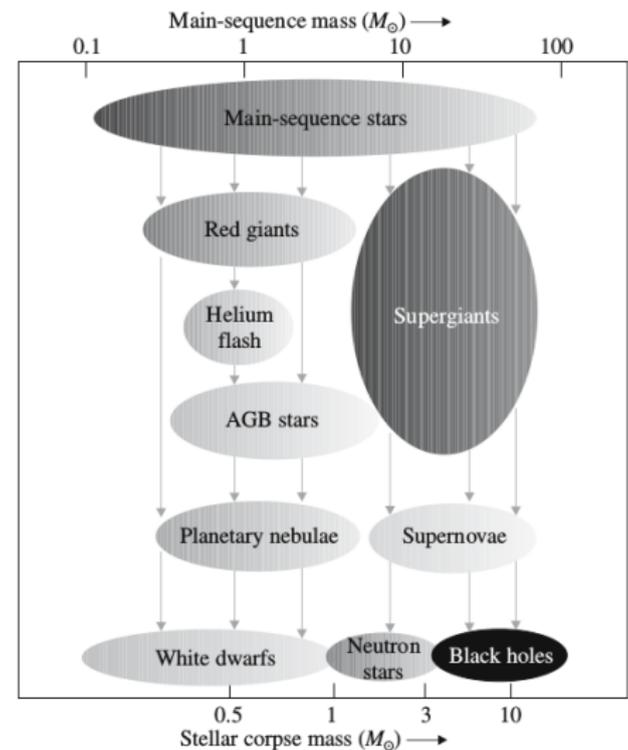


Figura 1: Evolução final de uma estrela.

- Os resultados do evento GW150914 descreveram uma coalescência de dois buracos negros com massas de aproximadamente  $36 M_{\odot}$  e  $29 M_{\odot}$ .
- O produto final dessa fusão foi um buraco negro em rotação, descrito pela métrica de Kerr, com cerca de  $\sim 62 M_{\odot}$  de massa.
- Durante o processo de fusão foram emitidas cerca de  $3 M_{\odot}$  na forma de ondas gravitacionais.

## Objetivo Geral

Estudar as possíveis relações entre PBHs e os eventos detectados pelo LIGO a partir da função de distribuição da massa dos buracos negros.

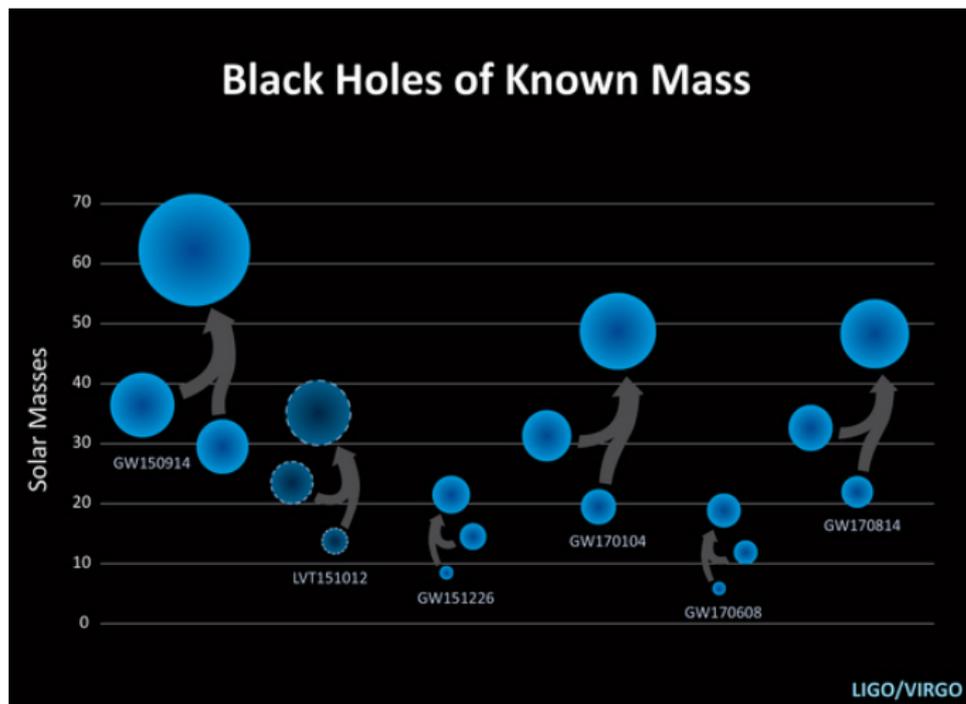


Figura 2: Gráfico de massa dos Buracos Negros.

# Distribuição de Massa dos BHs

$$\frac{dn}{dM} \propto M^{-\alpha}$$

Em que:

- $\alpha = 2.35$  corresponde a distribuição de Salpeter esperada pelo modelo de evolução estelar convencional;
- $\alpha = 2.5$  corresponde ao valor esperado para buracos negros primordiais.

- A distribuição de massa das pequenas bolhas com alta densidade bariônica é determinada pela inflação sendo uma log-normal do tipo:

$$\frac{dn}{dM} \propto \exp[-\gamma \ln^2(M/M_0)]$$

- Em que:

$$M_0 = \gamma + 0.1 \times \gamma^2 + 0.2 \times \gamma^3$$

- Foram simuladas coalescências BBH através de um algoritmo MCMC;
- Distribuição log-normal para as massas ( $m_1, m_2$ );
- Volume de espaço-tempo compatível com as corridas O1 e O2 (49.8 e 99 dias respectivamente);

- Condições impostas:
  - $m_1, m_2 > 5 M_\odot$ ;
  - $m_1 + m_2 < 100 M_\odot$ ;
  - O volume de espaço-tempo observado dependendo das massas, intervalo de tempo e  $\text{SNR} > 8$ ;
  - A massa do *chirp* seguisse uma distribuição log-normal com  $m_1 > m_2$  e  $m_1 + m_2 < 100$ ,

$$\mathfrak{M} = \frac{(m_1 m_2)^{3/5}}{(m_1 + m_2)^{1/5}},$$

Para calcular a *posteriori* foi considerado:

- $p(m_1) \propto m_1^{-\alpha}$  (lei de potência)
- $p(m_1) \propto \exp[-\gamma \ln^2(m_1/M_0)]$  (Affleck-Dine)

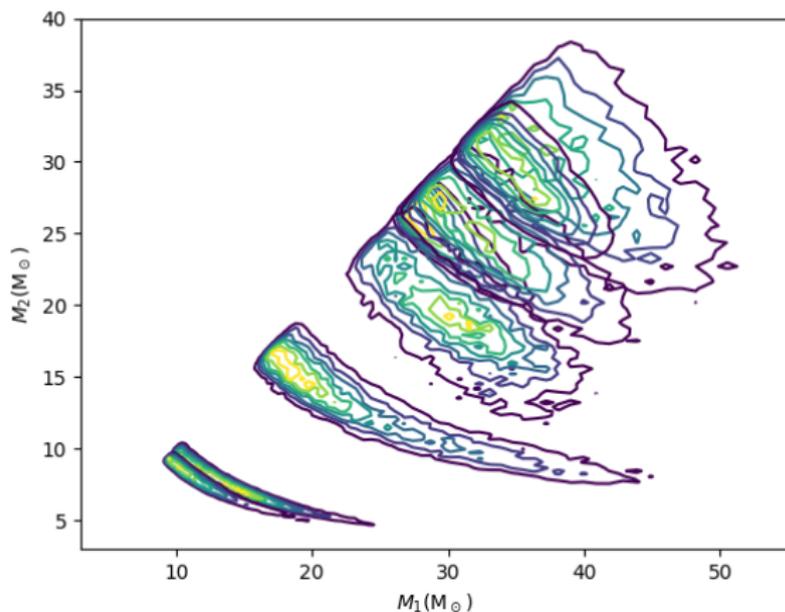


Figura 3: Conjunto de dados simulados que apresentam compatibilidade com os eventos detectados pelo LIGO nas corridas O1 e O2.

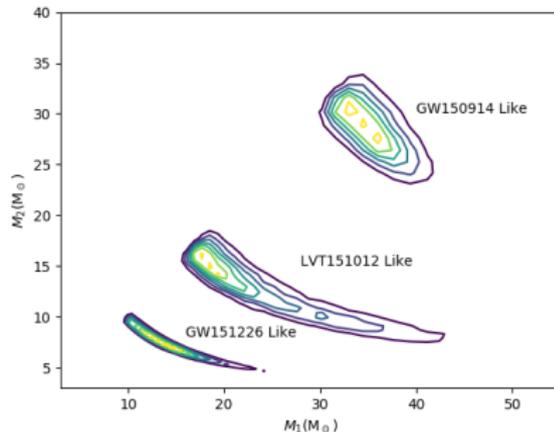
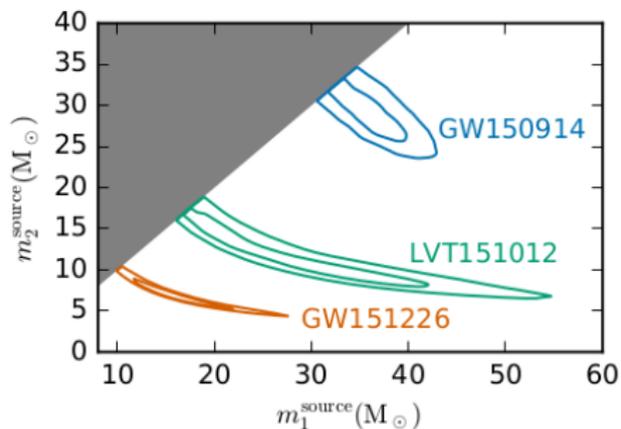


Figura 4: Distribuição de Massa para os Eventos do O1

# Resultados Obtidos

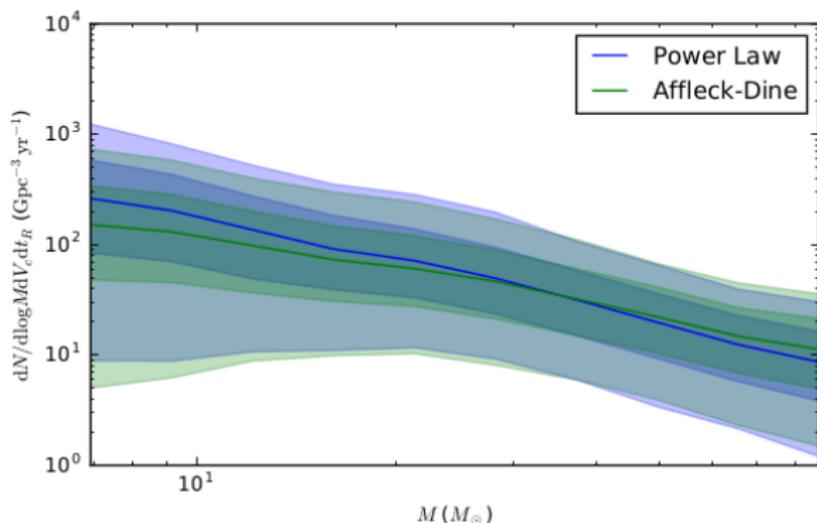


Figura 5: O resultado da *posteriori* para ambos os modelos, Affleck-Dine e lei de potência, mostrou que as duas curvas são similares no intervalo de massa considerado com 95% de confiança. Isso significa que os modelos são consistentes e podem explicar a distribuição de massa dos eventos detectados pelo LIGO.

# Resultados Obtidos

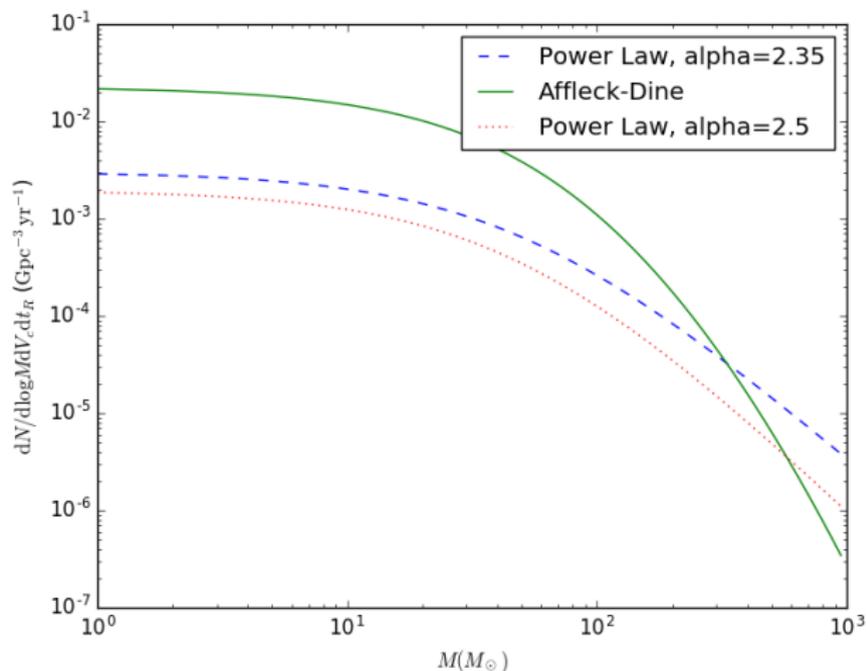


Figura 6: O gráfico apresenta as curvas para a distribuição do número de buracos negros em função da massa para ambos os modelos.

- As taxas encontradas no modelo são consistentes com as encontradas pelo LIGO;
- Os resultados mostram que é necessário um modelo alternativo para descrever os eventos
  - Lei de potência:  $\alpha = 2.23$ ;
  - Salpeter:  $\alpha = 2.35$ ;
  - PBHs:  $\alpha = 2.5$ .
- Os modelos são consistentes e condizentes com as BBHs detectadas;
- O modelo Affleck-Dine se mostrou estatisticamente favorável com relação a lei de potência.

1 Mestrado

2 Doutorado



# Buracos Negros Primordiais

Os PBHs são buracos negros que teriam sido formados no Universo primordial.

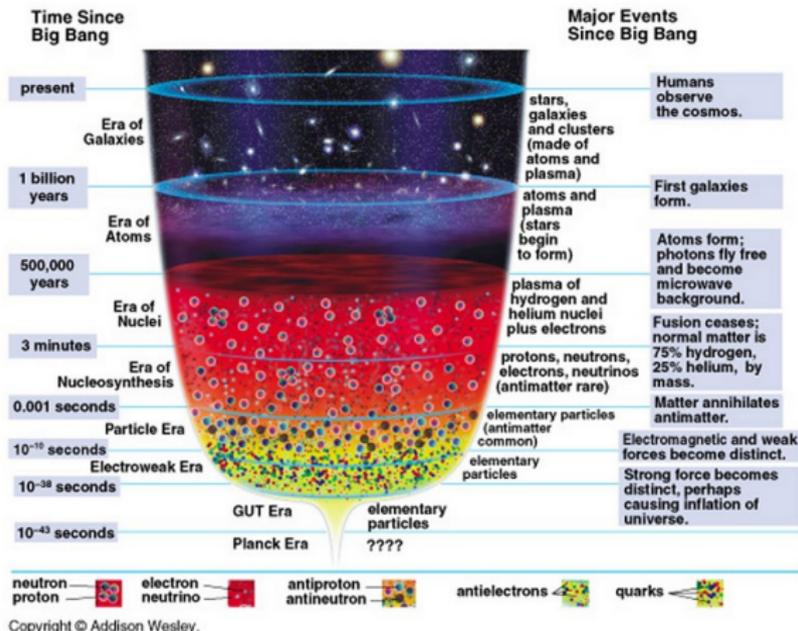


Figura 7: Escala de tempo desde o Big Bang.

# Flutuações de Grande Densidade

- Se uma flutuação de densidade for grande o suficiente, a gravidade supera as forças de pressão e o colapso se inicia para formar um PBH.
- Para que esse colapso ocorra é necessário que se atinja o raio de Schwarzschild;
- A densidade deve ultrapassar o limite da densidade de Schwarzschild:

$$\rho_S = 10^{18} \left( \frac{M}{M_\odot} \right)^{-2} \text{ g cm}^{-3}$$

- A distribuição de massa dos PBHs segue a forma:

$$\frac{dn}{dM_{PBH}} \propto M_{PBH}^{-5/2}$$

# Loops de Cordas Cóslicas

- As cordas cósmicas são defeitos topológicos unidimensionais (lineares) que podem se formar no início do Universo quando uma simetria axial ou cilíndrica é quebrada.
- As cordas cósmicas podem se auto-interceptar e formarem loops de cordas cósmicas:

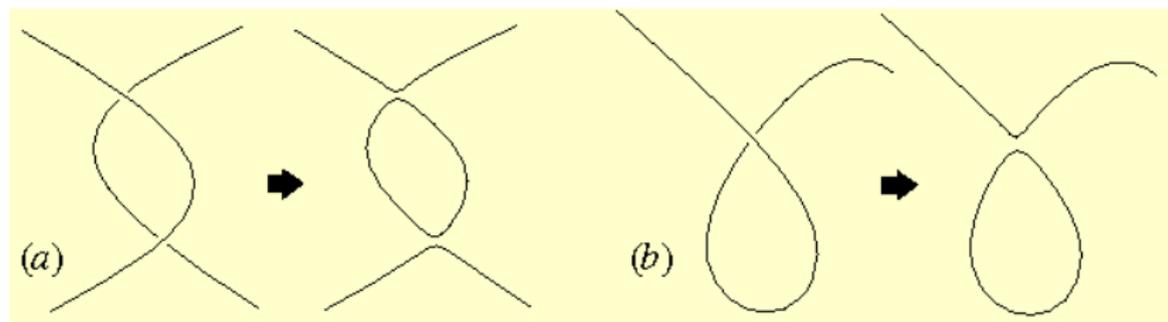


Figura 8: Loops de cordas cósmicas.

- Estudar alguns possíveis mecanismos de formação de buracos negros primordiais e estelares relacionando-os com as detecções de ondas gravitacionais observadas pelo LIGO;
- Utilizar a distribuição de massa, spin e taxa de ocorrência dos eventos para averiguar se tais buracos negros correspondem a buracos negros primordiais;
- Obter a fração de buracos negros primordiais que podem contribuir para a matéria escura do Universo.