

**Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**

---

## Investigação dos Principais Parâmetros em Simulações de Discos e Jatos Relativísticos

Raphael de Oliveira Garcia<sup>1</sup>

Instituto de Ciências e Tecnologia, UNESP, Sorocaba, SP

Samuel Rocha de Oliveira<sup>2</sup>

Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, UNICAMP, Campinas, SP

### 1 Introdução

Nas últimas décadas, as pesquisas relacionadas a sistemas astrofísicos vêm intensificando-se graças aos avanços em métodos numéricos, técnicas e recursos computacionais, estudos em modelagem matemática de fenômenos astrofísicos, em técnicas observacionais e experimentais em laboratórios de plasma.

Sistemas compostos por um disco de acreção girando em torno de Buraco Negro central, ambos imersos em uma magnetosfera, destacam-se por ser grandes emissores de energia. Sob determinadas condições, tal emissão ocorre na forma de jatos relativísticos.

A compreensão do processo de ejeção de matéria na forma de jatos ainda é um grande desafio para as ciências, tanto na questão fenomenológica quanto na computacional.

Desse modo, este trabalho propõe investigar os principais parâmetros de um sistema astrofísico, composto inicialmente por um Disco de acreção com velocidade Kepleriana circundando um Buraco Negro Central de Schwarzschild (BN), ambos imersos em uma magnetosfera.

### 2 Modelagem de Jatos Relativísticos

Nas equações de magnetohidrodinâmica relativística utilizadas na modelagem matemática, utilizou-se simetria axial e também uma formulação de leis de conservação com o intuito de aplicar o método de Nesyahu-Tadmor na obtenção da solução numérica.

Assim, as equações que descrevem o problema em questão são representadas por

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = -q \circ \left[ \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x^i} (h_0 b_i \circ w_i) \right] + h_0 f, \quad (1)$$

em que  $\mathbf{u} = (D, \mathbf{P}, \mathcal{E}, \mathbf{B})^T$  são as variáveis que representam a densidade de massa  $D$ , o momento linear  $\mathbf{P}$ , a densidade de energia total  $\mathcal{E}$  e o campo magnético  $\mathbf{B}$ ,  $h_0$  e  $b_i$

---

<sup>1</sup>gr.gubim@gmail.com

<sup>2</sup>samuel@ime.unicamp.br

2

representam os coeficientes da métrica de Schwarzschild,  $q$  são termos que envolvem o Jacobiano do sistema de coordenadas,  $w_i$  são expressões que combinam as variáveis do problema e  $f$  um termo fonte associado ao campo gravitacional predeterminado pelo BN [2].

O código desenvolvido por Garcia [1] permitiu obter soluções numéricas sem oscilações espúricas e nem dissipação numérica excessiva.

### 3 Alguns resultados

Ao considerar inicialmente um disco de acreção mil vezes mais denso que a magnetosfera e um campo magnético forte (responsável por 30% da energia total inicial), obteve-se um jato relativístico ejetado na região polar do BN com algumas subestruturas formadas, ver Figura 1.

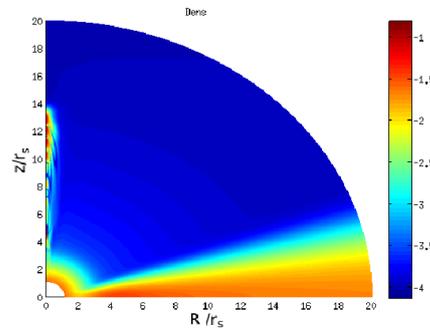


Figura 1: Gráfico da evolução temporal da densidade de massa. No eixo  $R/r_S$  tem-se o disco de acreção e no eixo  $z/r_S$  a matéria ejetada na forma de jato. Na figura, o BN está centrado na origem e a unidade de medida padrão é o raio de Schwarzschild  $r_S$

Em futuras simulações, pretende-se variar a relação entre a densidade da magnetosfera e a densidade do disco para saber se ainda teremos a formação de jatos, com ou sem subestruturas. Pretende-se ainda variar a intensidade do campo magnético inicial para verificar quais são as influências na forma do jato.

### Referências

- [1] R. O. Garcia, Métodos de volumes finitos centrados *unsplitting* utilizados na obtenção de soluções em magnetohidrodinâmica relativística: aplicações em discos e jatos, Tese em Matemática Aplicada, Unicamp, (2014).
- [2] S. Koide, K. Shibata and T. Kudoh. Relativistic Jet Formation from Black Hole Magnetized Accretion Disk: Method, Test and Applications of a General Relativistic Magnetohydrodynamic Numerical Code, *The Astrophys. J.*, 522:727–752, 1999.