



Estudo do efeito da gravidade na turbulência e campo magnético nas regiões de formação estelar

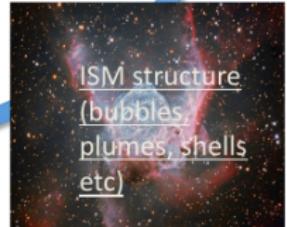
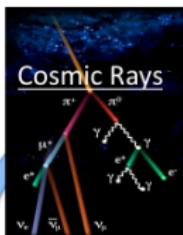
Lorena do Carmo Jesus

Orientadores: Diego Falceta-Gonçalves e Alex Lazarian

DAS-INPE

05/04/2017

- Turbulência interestelar ¹.



¹(Imagen disponível em: Burkhart, 2012)

- **Teoria de Kolmogorov** imcompressibilidade + isotropia + localidade.

$$E(k) = \varepsilon^{-2/3} k^{-5/3} \quad (1)$$

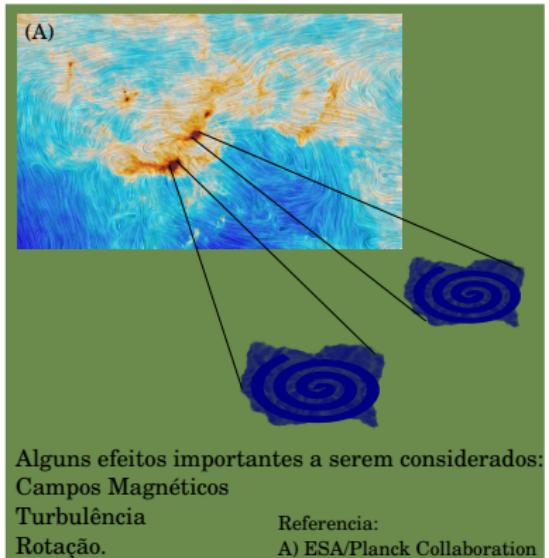
O MI é magnetizado e compressível

- **Turbulência MHD:**

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} = -\frac{\nabla P}{P} + \nu \nabla^2 \vec{u} + \frac{(\nabla \times \vec{B}) \times \vec{B}}{4\pi\rho} + \frac{\nabla \vec{B}}{\nabla t} + (\nabla \times \vec{B}) \times \vec{B} + \eta \vec{B} \quad (2)$$

Em específico, em formação estelar

- Análises espectrais de alta resolução indicam que as nuvens moleculares são fluidos turbulentos e magnezitados, apresentando movimentos complexos, difusão de matéria e dissipação de energia cinética de grandes até pequenas escalas.



Estimativa observacional de B :

- Observações espectrais e dos mapas de polarização dos grãos de poeira, com base no método de Chandrashekhar-Fermi:

$$B_{POS} = \sqrt{4\pi\rho} \left(\frac{\sigma_v}{\sigma_\phi} \right), \quad (3)$$

B_{POS} é o valor médio do campo magnético projetado no plano do céu, ρ é a densidade do meio, σ_v é a dispersão de velocidade e σ_ϕ é a dispersão do ângulo de polarização.

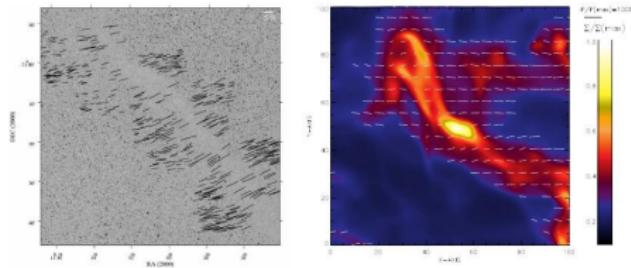


Figura: Lado esquerdo representa o mapeamento espacial dos vetores de polarização nos comprimento de óptico e infravermelho da nuvem de Musca. O lado direito apresenta uma imagem de um mapa de polarização sintético obtido a partir das simulações magnetohidrodinâmicas, Falceta-Gonçalves (2011).

- A segunda maneira é a determinação da componente de B projetada na linha de visada (B_{LOS}) devido ao efeito de desdobramento das linhas espectrais a partir do Efeito Zeeman.

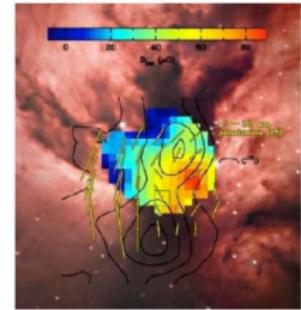
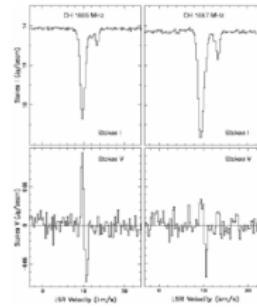


Figura: A imagem representa a medida de B_{LOS} obtidas a partir de medidas Zeeman das linhas moleculares OH, H_2O e CN . Nessa imagem, apresenta-se o gráfico de B_{LOS} em função da densidade colunar, indicando a correlação desses dois parâmetros (Crutcher, 2008).

Título: Determinação de mapas polarimétricos de jatos protoestelares gigantes existentes ao longo do processo de formação estelar.

• **Orientado por:** Claudia Vilega Rodrigues-INPE.

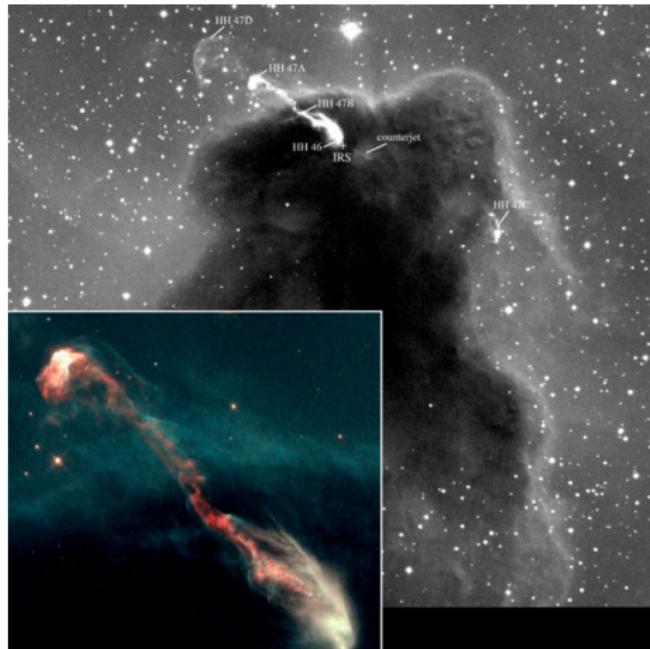
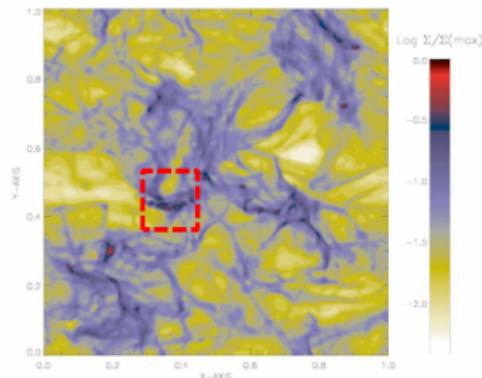


Figura: Jato protoestelar gigante HH 46/47. Imagem obtida a partir do telescópio Hubble.

- Realizar um estudo estatístico de mapas de polarização sintéticos criados a partir das simulações de modelos com e sem gravidade, aplicando-se o método de Chandrasekhar-Fermi.
- O segundo objetivo deste trabalho é obter uma estimativa de B na linha de visada em simulações com gravidade e estudar suas correlações estatísticas com alguns parâmetros, como por exemplo, a densidade colunar.
- Obter a correlação estatística entre o campo magnético e a densidade das regiões de formação estelar, a partir da análise das linhas Zeeman.

- Os trabalhos que tentam realizar uma estimativa de B usam uma aproximação baseada em um regime onde o meio é turbulento, isotérmico e sem gravidade. Entretanto, existem trabalhos que sugerem a distorção de B devido ao efeito de gravidade, (Soler et. al, 2013).

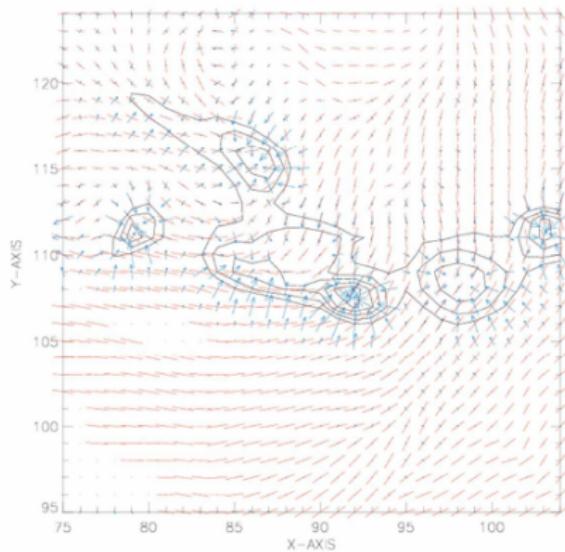


HRO-technique

Soler et al. (2013)

Polarization distortion by gravity?

Koch, Tang & Koh (2012)



- Para que estes objetivos sejam alcançados faremos uso de um conjunto de simulações magnetohidrodinâmicas, realizadas em três dimensões e alta resolução, incluindo os efeitos de autogravidade do gás, e de técnicas de reconstrução parâmetros observáveis sintéticos, já desenvolvidos pelo grupo ².

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho \mathbf{v}}{\partial t} + \nabla \cdot \left[\rho \mathbf{v} \mathbf{v} + \left(p + \frac{B^2}{8\pi} \right) \mathbf{I} - \frac{1}{4\pi} \mathbf{B} \mathbf{B} \right] = \mathbf{f}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} - \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) = 0, \quad (6)$$

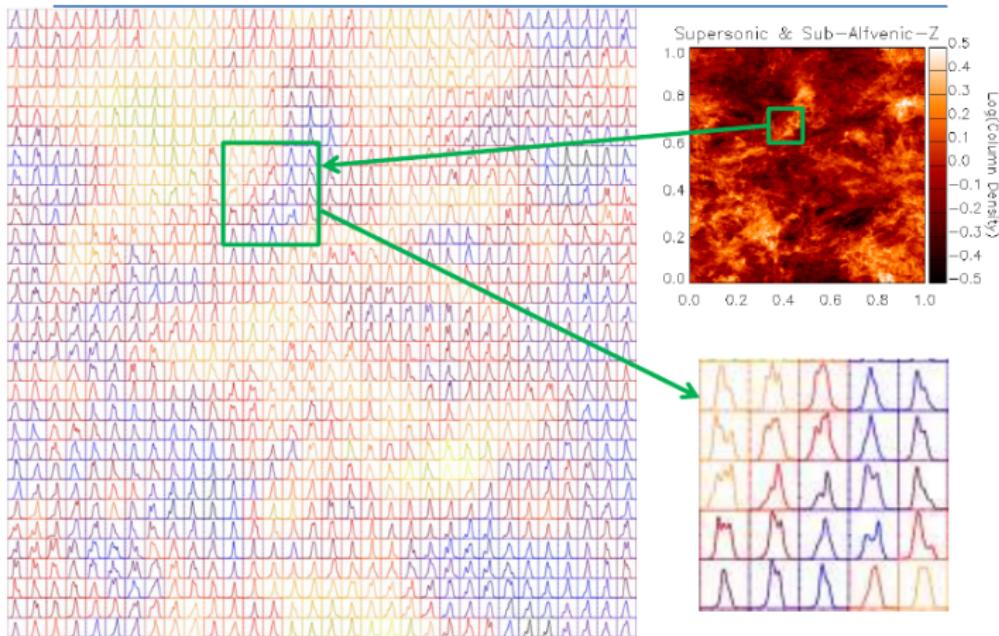
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0, \quad (7)$$

$$p = c_s^2 \rho, \quad (8)$$

em que ρ , \mathbf{v} e p são a densidade, a velocidade e pressão do plasma, respectivamente, e $\mathbf{f} = \mathbf{f}_{\text{turb}} + \mathbf{f}_{\text{grav}}$ representa os termos externos de turbulência e auto-gravidade.

²<http://amumcode.org>

- Cubo de dados³.

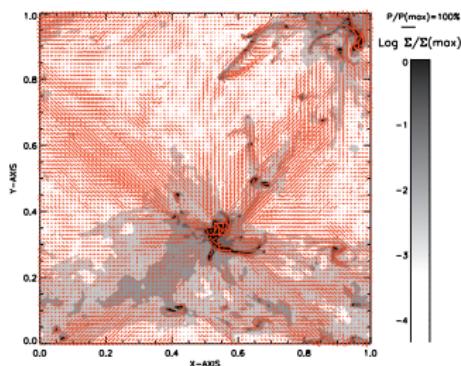


³(Falceta-Gonçalves, 2016)

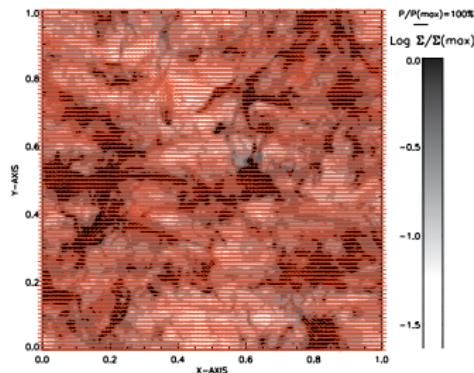
- Exemplo de simulação de nuvem molecular auto-gravitante

RESULTADOS E PERSPECTIVAS

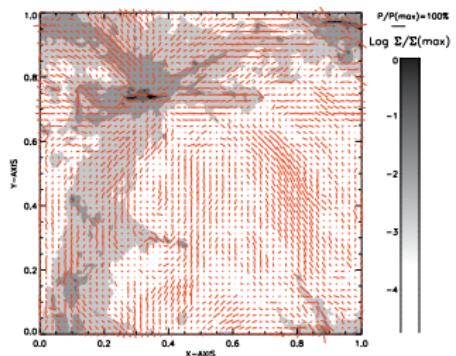
Caso sub-Alfvênico, supersônico com e sem gravidade xy (*a* e *c*) e *yz* (*b* e *d*), respectivamente:



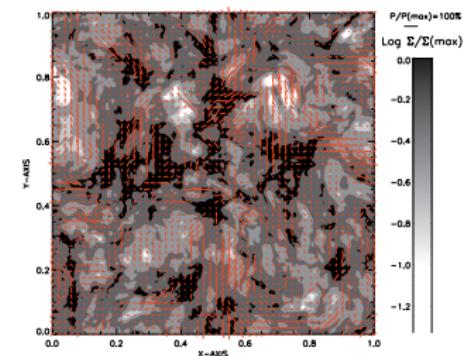
(a)



(b)



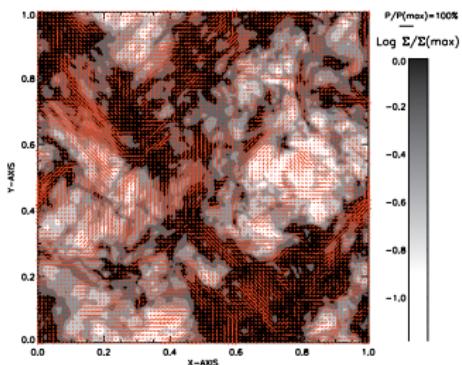
(c)



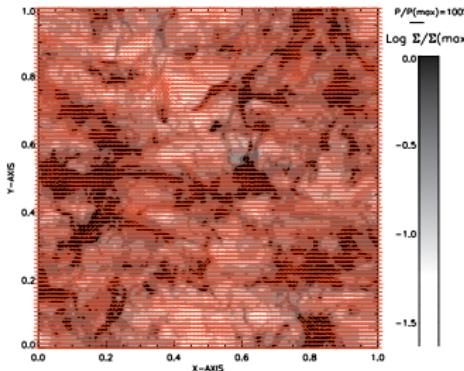
(d)

RESULTADOS E PERSPECTIVAS

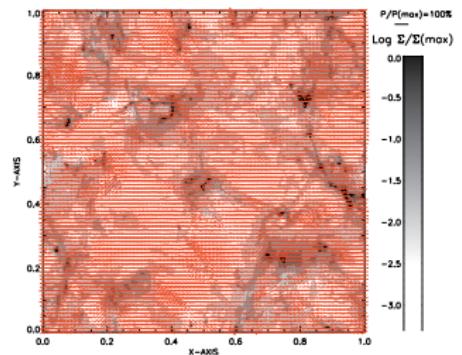
Caso super-Alfvênico, supersônico com e sem gravidade xy (a e c) e yz (b e d), respectivamente:



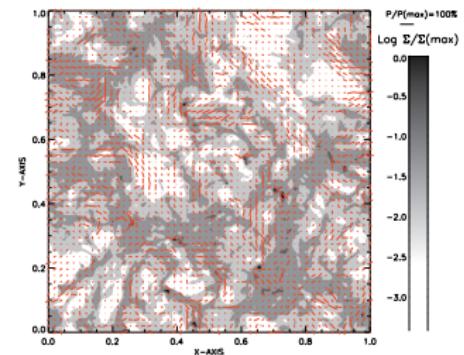
(a)



(b)



(c)



(d)

As perspectivas são:

- Explorar uma técnica que permita combinar observações e simulações numéricas para a determinação das condições físicas em grande escala das nuvens moleculares. Assim, além de um estudo das correlações entre os parâmetros das simulações, procuraremos explorar as relações entre estes e os observáveis nas regiões de formação estelar.

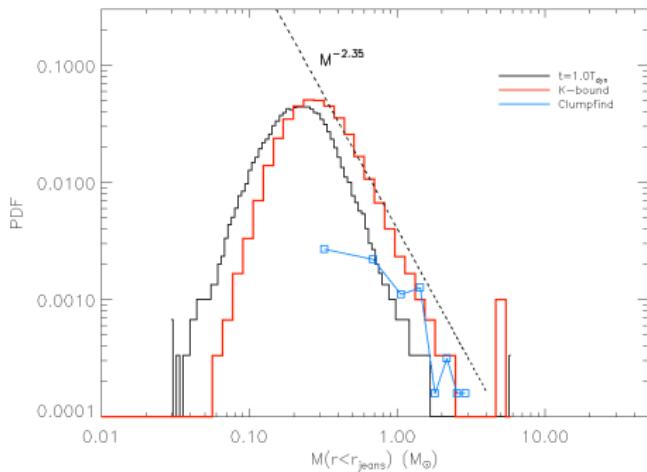


Figura: PDF dos dados obtidos a partir das simulações numéricas para este trabalho