

CONSTRAINING POLARIZED FOREGROUNDS FOR EOR
EXPERIMENTS II:

POLARIZATION LEAKAGE SIMULATIONS IN
THE AVOIDANCE SCHEME

Gabriel Silva Costa

INTRODUÇÃO

O estudo analisa o problema da interferência de foregrounds na observação da linha de 21 cm desviada para o vermelho, propondo um método para quantificar e reduzir o vazamento de polarização, que pode contaminar o sinal de 21 cm. Usa-se simulações baseadas em um modelo de instrumento e um modelo de céu polarizado para testar o método.

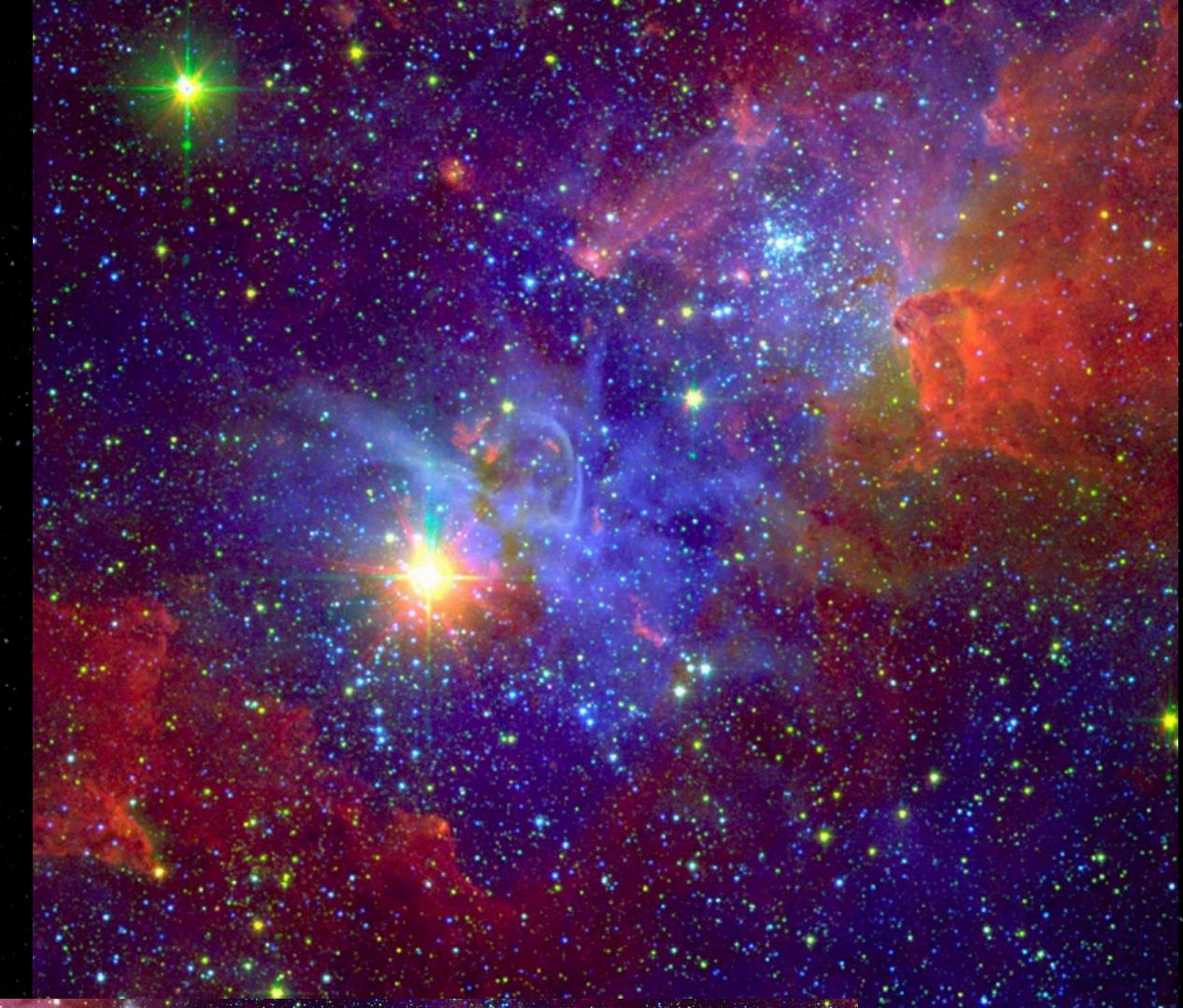
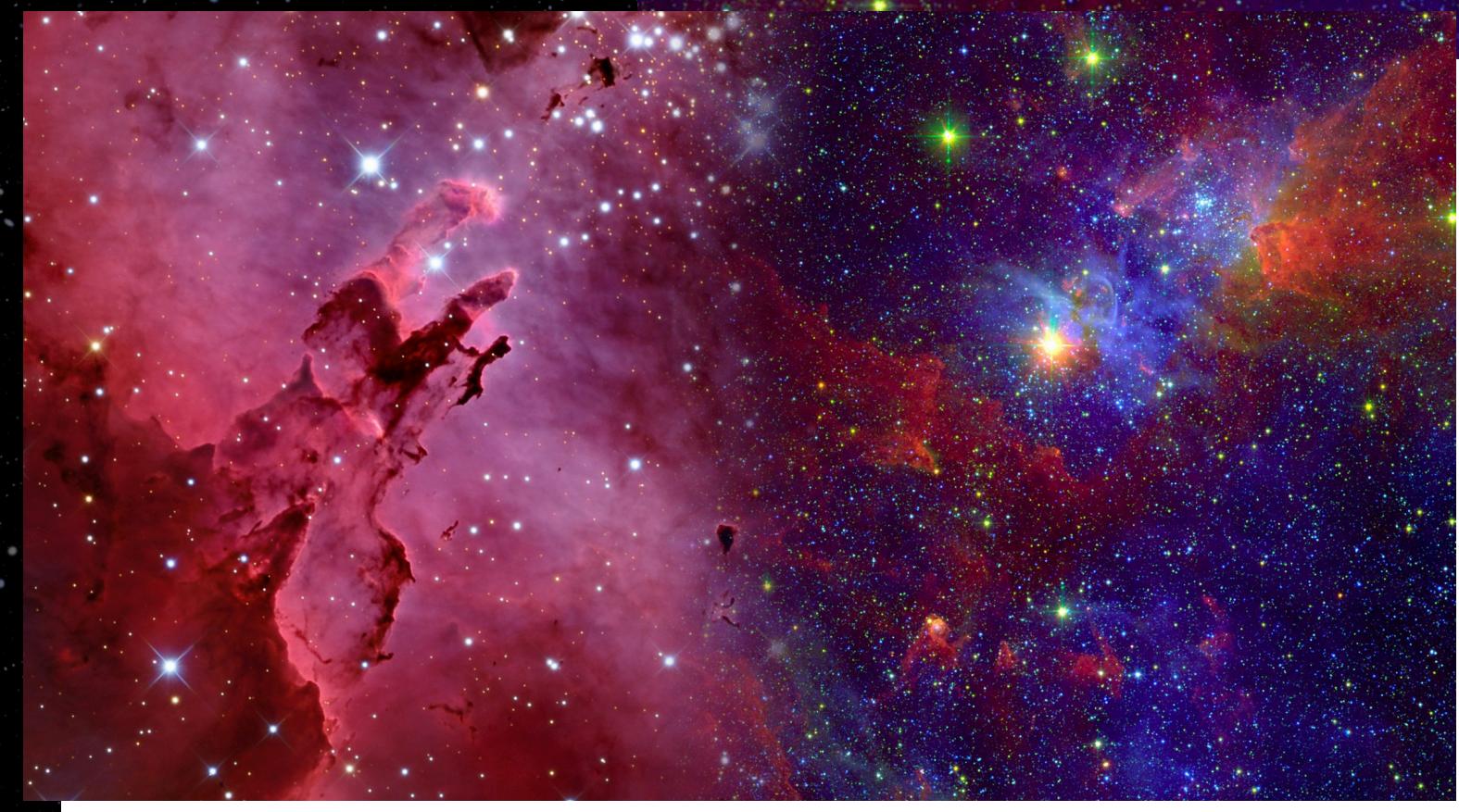
ÍNDICE

1. Desafios
2. Formalismo
3. Simulações
4. Resultado

DESAFIOS

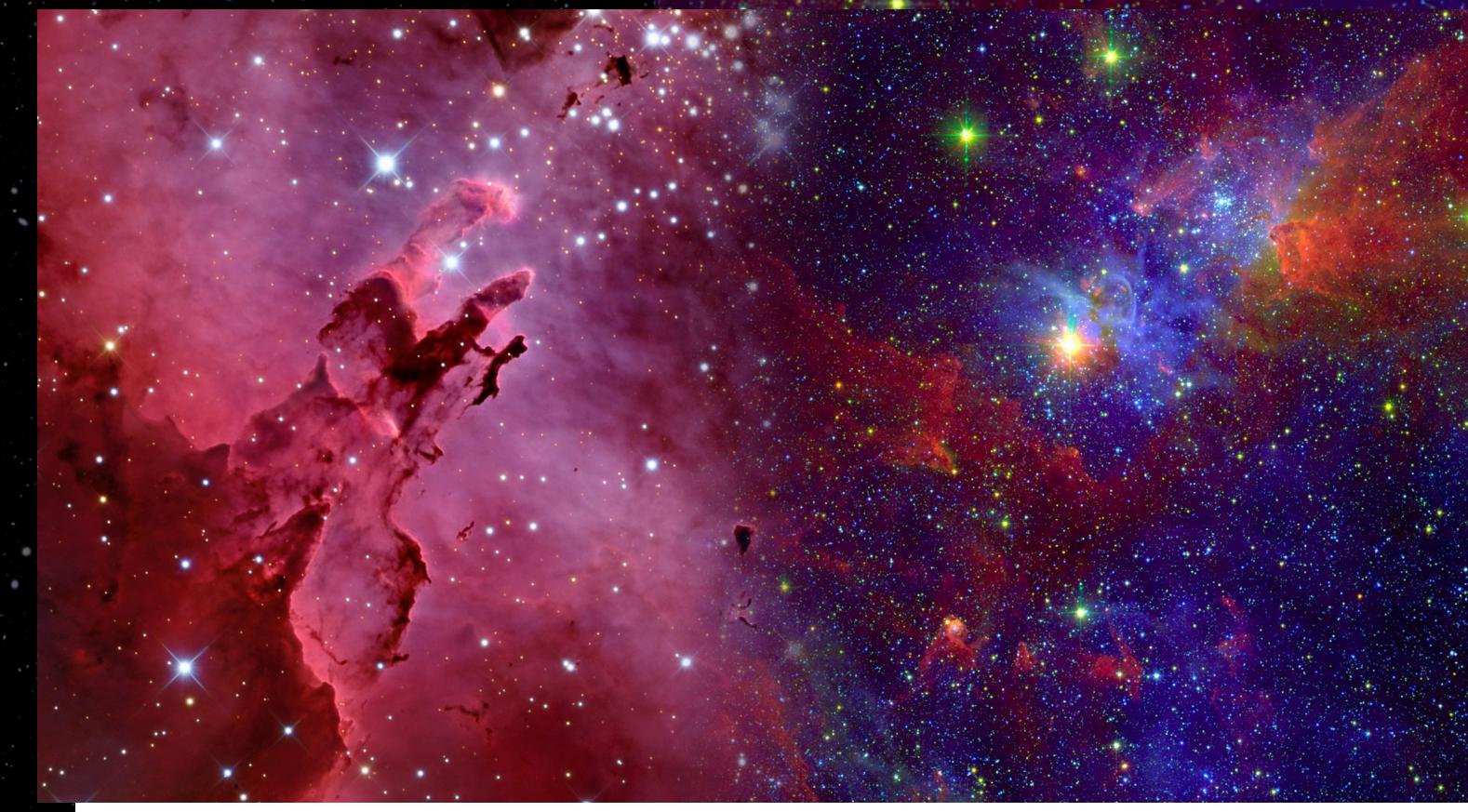
na observação da linha de 21cm

Foregrounds algumas ordens de magnitude mais fortes que o sinal cosmológico:



Foregrounds algumas ordens de magnitude mais fortes que o sinal cosmológico:

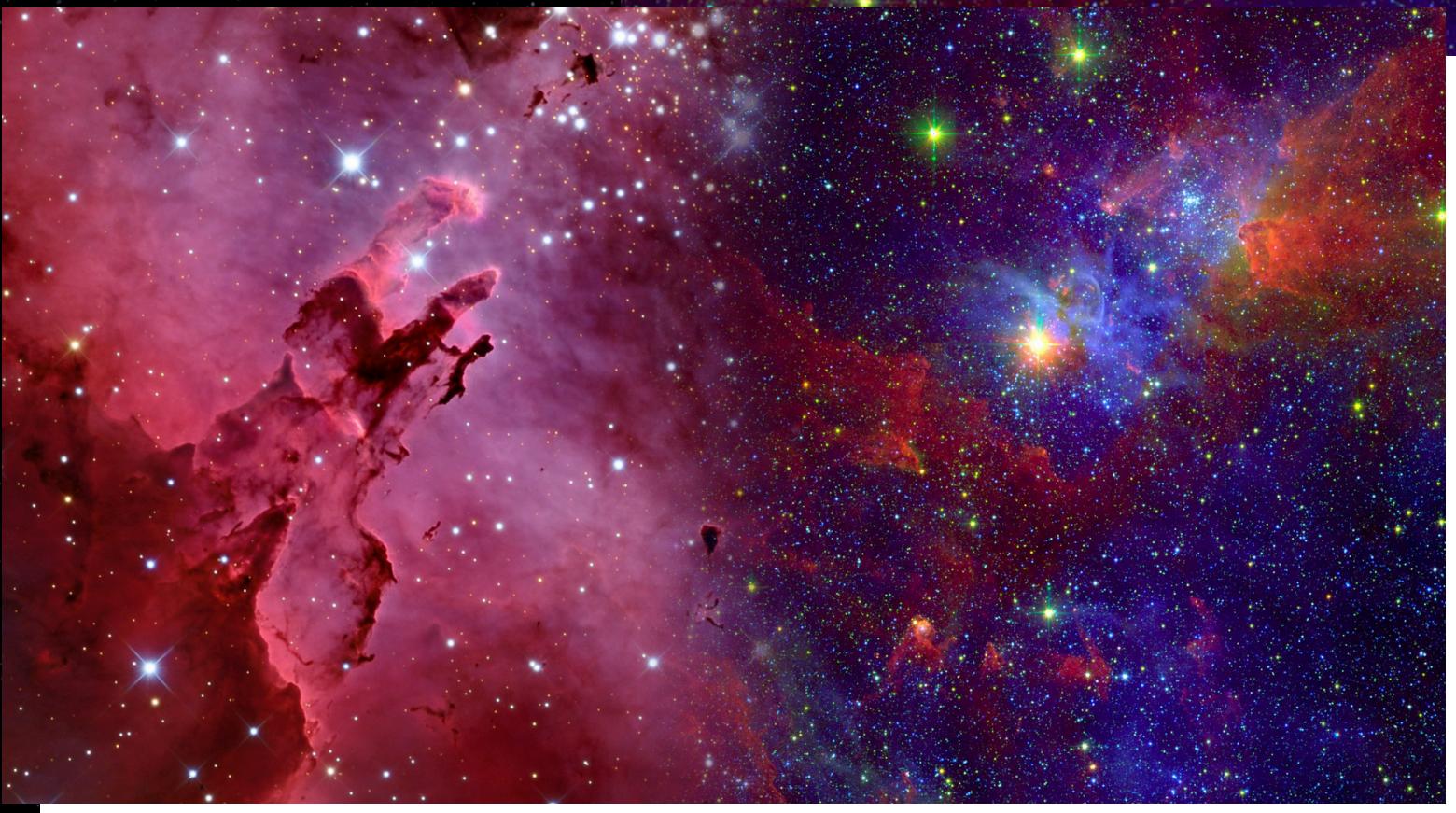
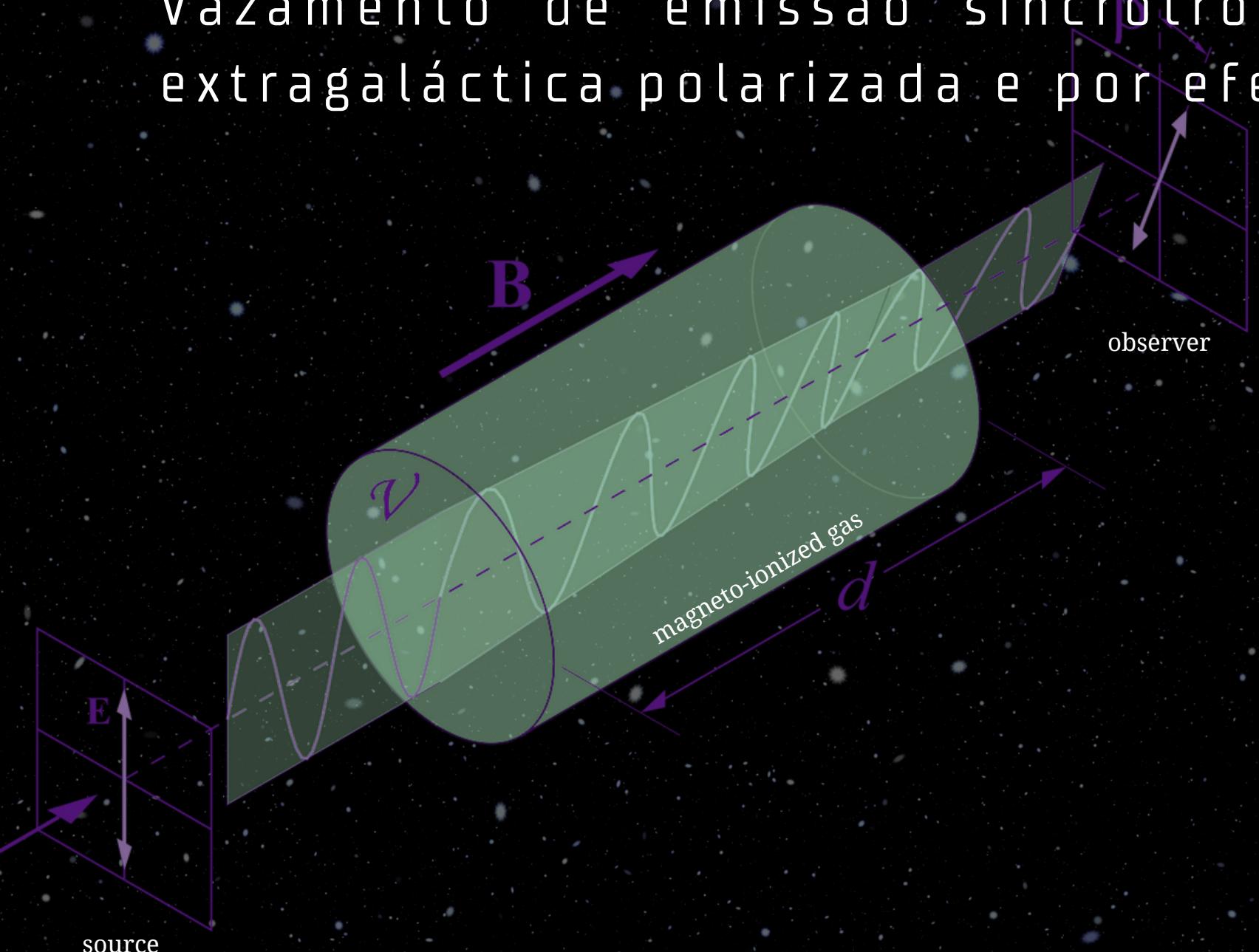
“Foreground avoidance”



Foregrounds algumas ordens de magnitude mais fortes que o sinal cosmológico;

“Foreground avoidance”;

Vazamento de emissão síncrotron galáctica e extragalática polarizada e por efeito Faraday;

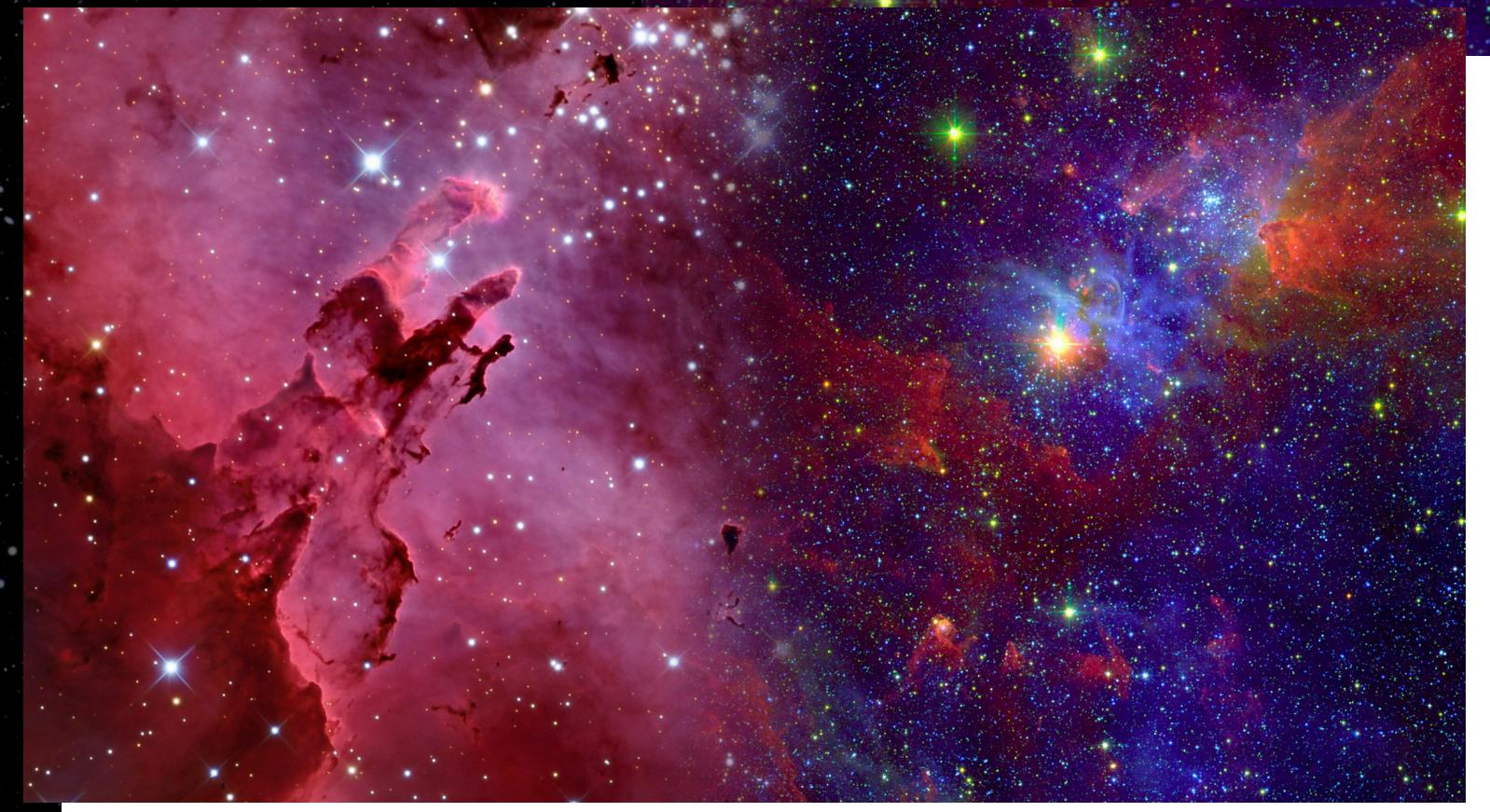


Medição de espectros de potência polarizados bidimensionais de Kohn et al. (2016) usando observações do PAPER.

Estensão da abordagem de delay transform (Parsons et al. 2012) para o caso polarizado, definindo um formalismo que inclui o vazamento.

Desenvolvimento de modelos de foregrounds polarizados aos quais foi aplicado o formalismo a fim de simular observações do PAPER.

Comparação dos espectros de potência polarizados simulados com dados existentes.

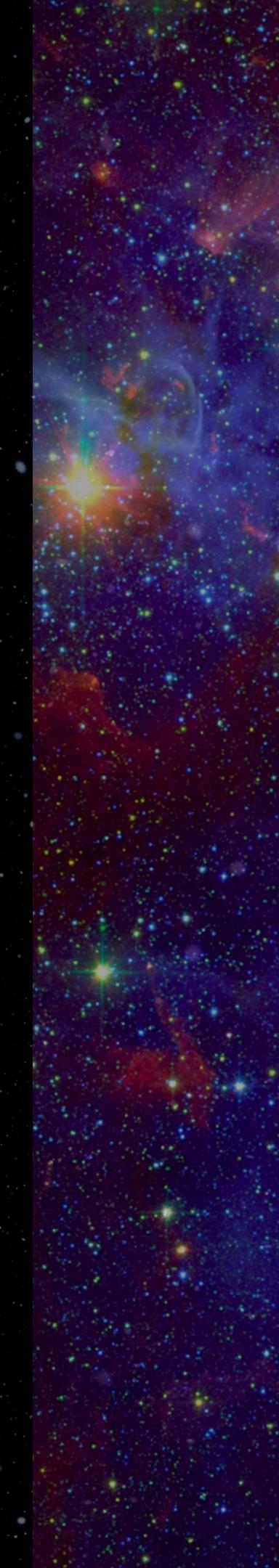


FORMALISMO

FORMALISMO

A relação entre a distribuição do brilho do céus e a visibilidade medida por um interferômetro de dois elementos é descrito por:

$$v(\mathbf{b}, \nu) = \int_{\Omega} a(\hat{\mathbf{r}}, \nu) s(\hat{\mathbf{r}}, \nu) e^{-2\pi i \nu \frac{\mathbf{b} \cdot \hat{\mathbf{r}}}{c}} d\Omega \quad (1)$$

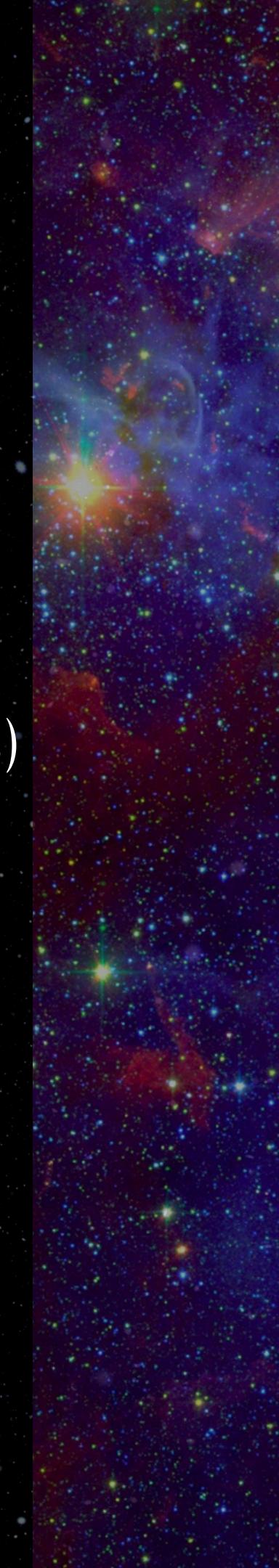


A distribuição do brilho do céu observada através do feixe primário do telescópio:

$$\begin{aligned} s'(\hat{r}, \nu) &= A(\hat{r}, \nu) s(\hat{r}, \nu) \\ &= S^{-1} [J(\hat{r}, \nu) \otimes J^*(\hat{r}, \nu)] S s(\hat{r}, \nu) \quad (2) \end{aligned}$$

$$v(b, \nu) = S^{-1} v_c(b, \nu) = \int_{\Omega} A(\hat{r}, \nu) s(\hat{r}, \nu) e^{-2\pi i \nu \frac{b \cdot \hat{r}}{c}} d\Omega \quad (3)$$

$$S = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & i \\ 0 & 0 & 1 & -i \\ 1 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} I' \leftarrow I & I' \leftarrow Q & I' \leftarrow U & I' \leftarrow V \\ Q' \leftarrow I & Q' \leftarrow Q & Q' \leftarrow U & Q' \leftarrow V \\ U' \leftarrow I & U' \leftarrow Q & U' \leftarrow U & U' \leftarrow V \\ V' \leftarrow I & V' \leftarrow Q & V' \leftarrow U & V' \leftarrow V \end{pmatrix}$$

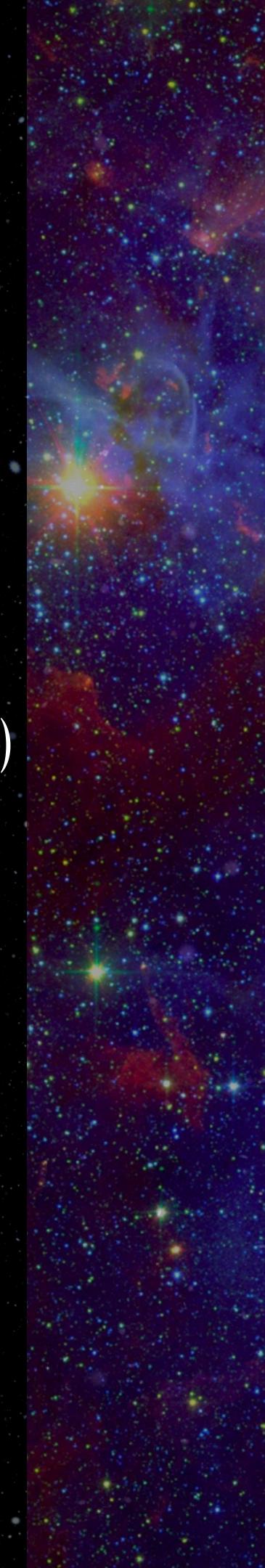


A distribuição do brilho do céu observada através do feixe primário do telescópio:

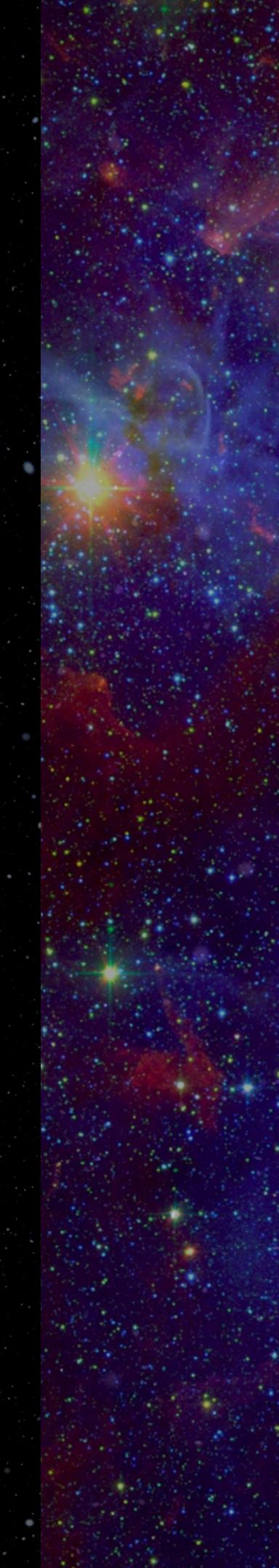
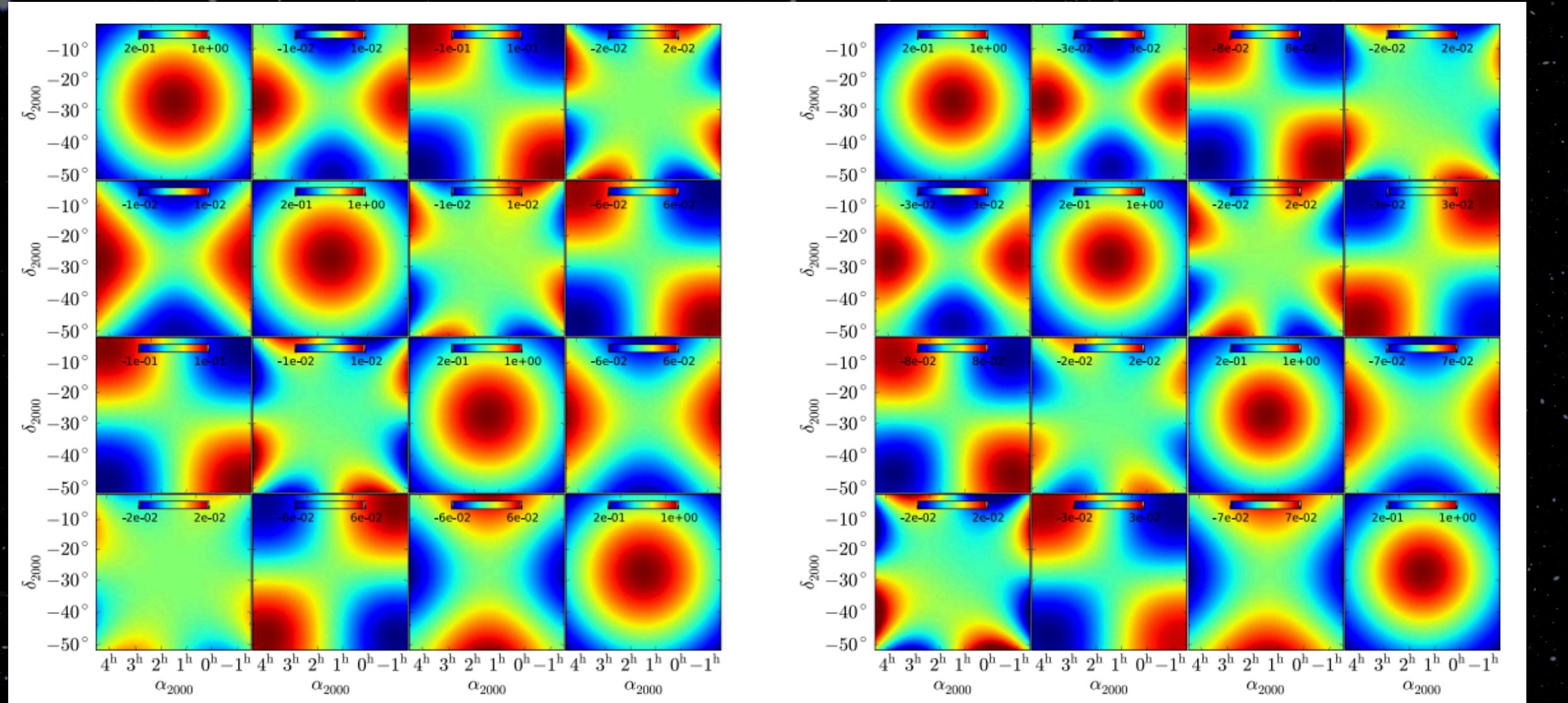
$$\begin{aligned} \mathbf{s}'(\hat{\mathbf{r}}, \nu) &= A(\hat{\mathbf{r}}, \nu) \mathbf{s}(\hat{\mathbf{r}}, \nu) \\ &= S^{-1} [\mathbf{J}(\hat{\mathbf{r}}, \nu) \otimes \mathbf{J}^*(\hat{\mathbf{r}}, \nu)] S \mathbf{s}(\hat{\mathbf{r}}, \nu) \quad (2) \end{aligned}$$

$$v(\mathbf{b}, \nu) = S^{-1} v_c(\mathbf{b}, \nu) = \int_{\Omega} A(\hat{\mathbf{r}}, \nu) \mathbf{s}(\hat{\mathbf{r}}, \nu) e^{-2\pi i \nu \frac{\mathbf{b} \cdot \hat{\mathbf{r}}}{c}} d\Omega \quad (3)$$

$$\mathbf{s} = \begin{bmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \langle e_x e_x^* \rangle + \langle e_y e_y^* \rangle \\ \langle e_x e_x^* \rangle - \langle e_y e_y^* \rangle \\ \langle e_x e_y^* \rangle + \langle e_y e_x^* \rangle \\ -i(\langle e_x e_y^* \rangle - \langle e_y e_x^* \rangle) \end{bmatrix}$$



$$A = \begin{pmatrix} I' \leftarrow I & I' \leftarrow Q & I' \leftarrow U & I' \leftarrow V \\ Q' \leftarrow I & Q' \leftarrow Q & Q' \leftarrow U & Q' \leftarrow V \\ U' \leftarrow I & U' \leftarrow Q & U' \leftarrow U & U' \leftarrow V \\ V' \leftarrow I & V' \leftarrow Q & V' \leftarrow U & V' \leftarrow V \end{pmatrix}.$$

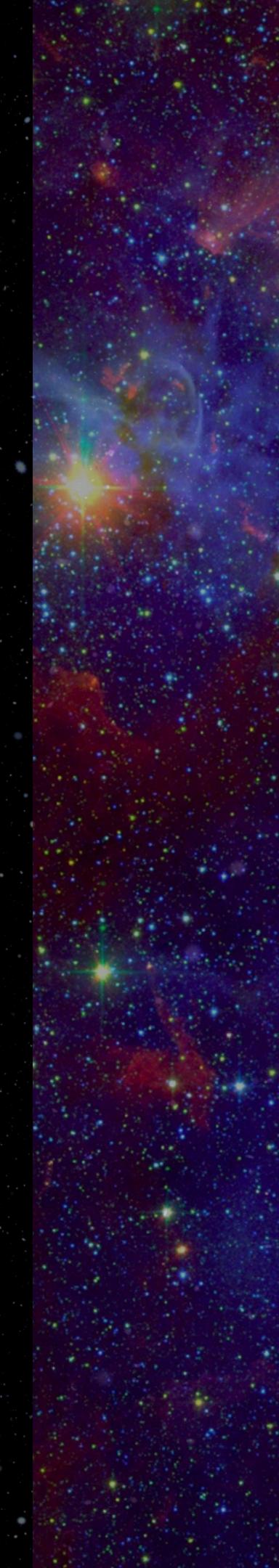


Delay transform está relacionada ao espectro de potência de 21 cm $p(k)$ da seguinte forma:

$$\begin{aligned} p(k) &= p(\sqrt{k_{\perp}^2 + k_{\parallel}^2}) \\ &= \left(\frac{\lambda^2}{2k_B} \right)^2 \left(\frac{D^2 \Delta D}{B} \right) \frac{1}{q} |\tilde{v}(|\mathbf{b}|, \tau)|^2 \quad (4) \end{aligned}$$

O caso polarizado é obtido substituindo a Equação (3) na transformada de delay:

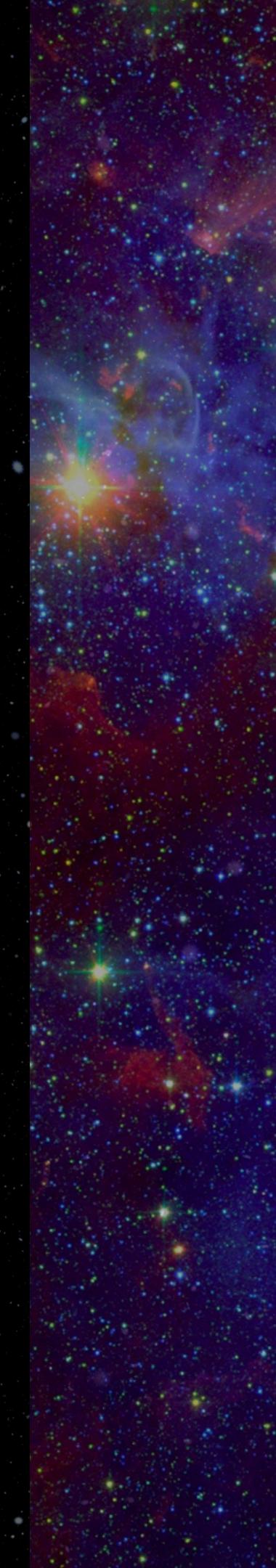
$$\tilde{v}(\mathbf{b}, \tau) = \int_B w(\nu) v(\mathbf{b}, \nu) e^{-2\pi i \nu \tau} d\nu \quad (5)$$



E usando o produto Hadamard \circ para estender a equação (4) obtém-se os espectros de potência polarizado:

$$\mathbf{p}(k) = \left(\frac{\lambda^2}{2k_B} \right)^2 \frac{D^2 \Delta D}{B} Q^{-1} \{ \tilde{\mathbf{v}}(|\mathbf{b}|, \tau) \circ \tilde{\mathbf{v}}(|\mathbf{b}|, \tau)^* \} \quad (6)$$

Esse resultado generaliza a abordagem de Moore et al. (2013) para polarização completa e fornece estrutura para simular o vazamento de power spectrum de 21cm esperado, dado um foreground polarizado e o modelo do instrumento.

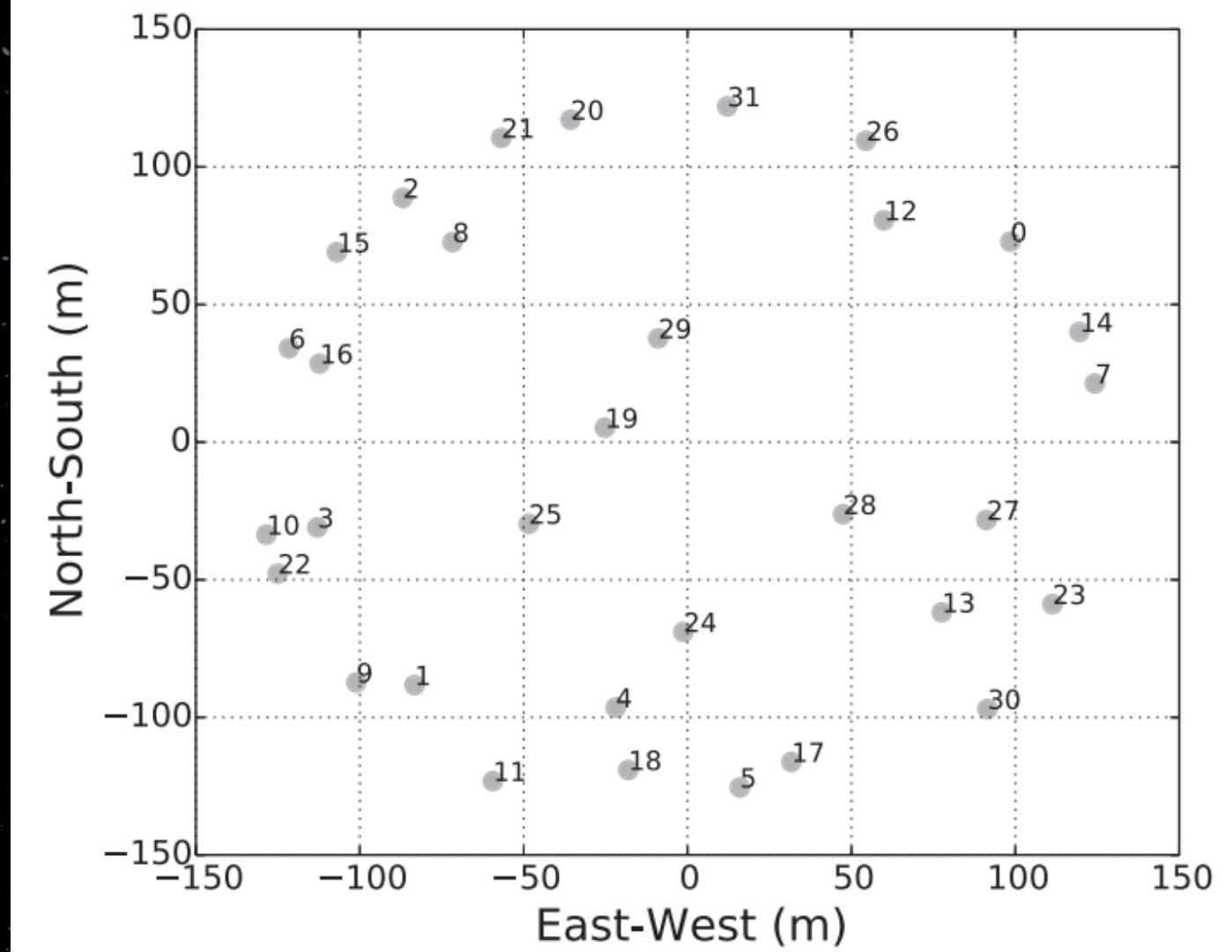


SIMULAÇÕES

Para avaliar a função (6), é necessário 3 ingredientes:

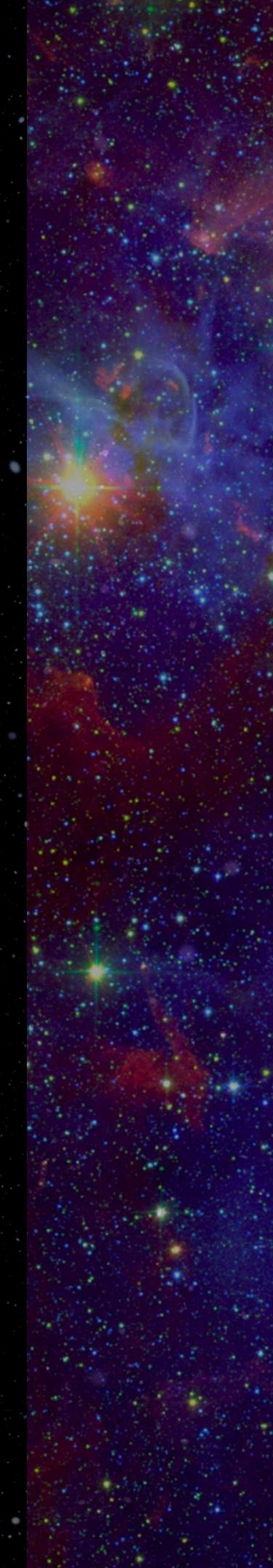
1) Um modelo do feixe de dipolo do PAPER
Pacote FEKO

2) Um modelo da configuração do conjunto
Drift scan simulado



Para avaliar a função (6), é necessário 3 ingredientes:

- 1) Um modelo do feixe de dipolo do PAPER
Pacote FEKO
- 2) Um modelo da configuração do conjunto
Drift scan simulado
- 3) Um modelo do céu polarizado
Catálogo de fontes pontuais e emissão Galáctica
difusa



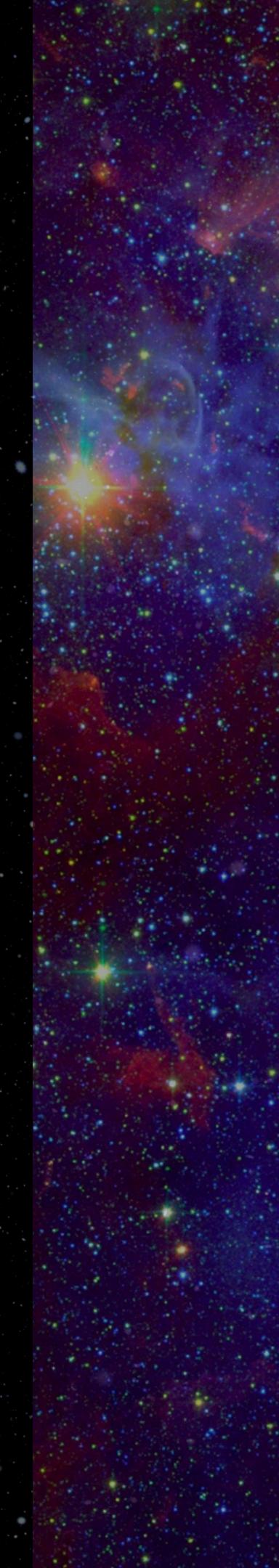
Modelos de foregrounds inseridos na simulação:

- Point-source All-sky Model
 - Simulações de fontes pontuais polarizadas definidas por um catálogo que inclui a fração de polarização e os valores da medida de rotação (RM).

$$\begin{aligned} Q_{\nu,i} &= \gamma_i I_{\nu,i} \cos(2\chi_i) = \gamma_i I_{\nu_0,i} \left(\frac{\nu}{\nu_0}\right)^{\alpha_i} \cos\left(2 \text{RM}_i \frac{c^2}{\nu^2}\right) \\ U_{\nu,i} &= \gamma_i I_{\nu,i} \sin(2\chi_i) = \gamma_i I_{\nu_0,i} \left(\frac{\nu}{\nu_0}\right)^{\alpha_i} \sin\left(2 \text{RM}_i \frac{c^2}{\nu^2}\right), \end{aligned} \quad (7)$$

- Propriedades de intensidade total: catálogo HurleyWalker.
- Distribuição RM: catálogo de 1.4 GHz de Taylor.
- Fração de polarização: resultado de Lenc et al.

2016



Modelos de foregrounds inseridos na simulação:

- Galactic Diffuse Emission Model

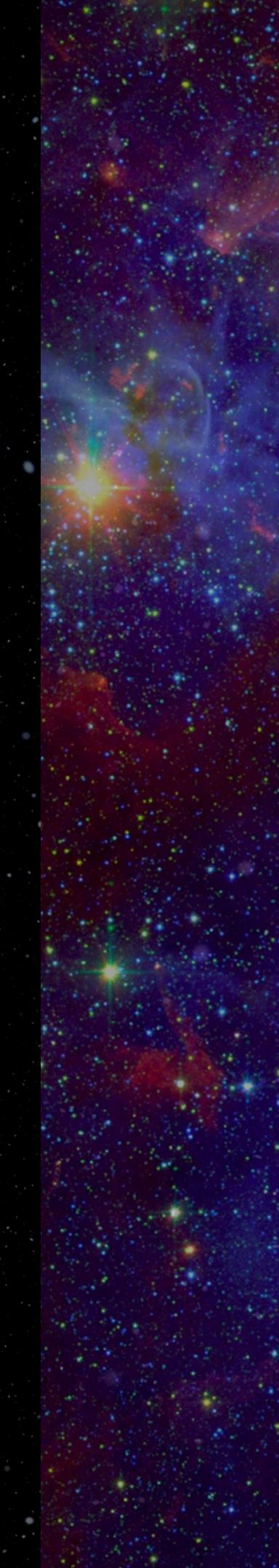
- Profundidade de Faraday coincide com o RM: eq. (7) fica:

$$Q(\hat{r}, \nu) = P(\hat{r}) \cos\left(2\phi \frac{c^2}{\nu^2}\right)$$

$$U(\hat{r}, \nu) = P(\hat{r}) \sin\left(2\phi \frac{c^2}{\nu^2}\right) \quad (8)$$

- Abordagem semelhante a Alonso et al. [2014]: simulação de mapa de foregrounds polarizados $P(r)$

$$\langle \tilde{P}(\mathbf{l}) \tilde{P}(\mathbf{l})^* \rangle = (2\pi)^2 C_\ell^P \delta^{(2)}(\mathbf{l} - \mathbf{l}'),$$

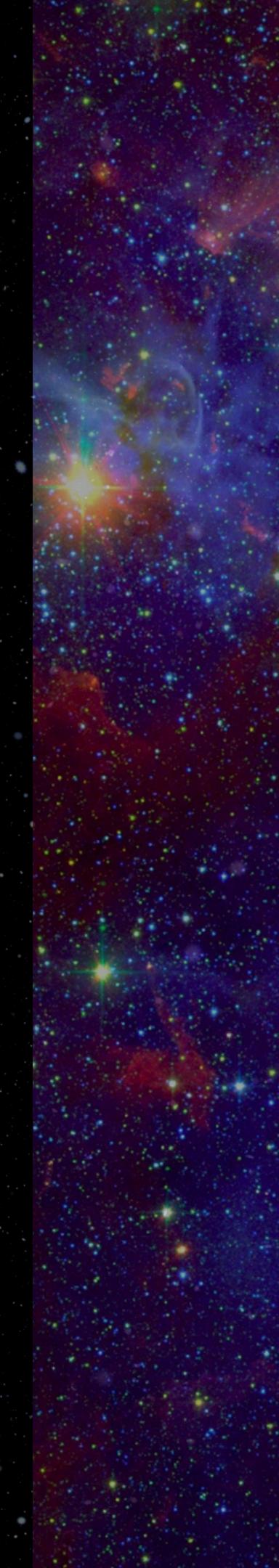


Modelos de foregrounds inseridos na simulação:

- Galactic Diffuse Emission Model
 - Foi gerado um mapa $P_{D6}(\hat{r})$ ($P_{D12}(\hat{r})$) do espectro de potência polarizado $C_{\ell,D6}^P$ ($C_{\ell,D12}^P$) usando o Healpix
 - Substituiu-se ϕ_{D6} (ϕ_{D12}) na eq. [8] para gerar os mapas full-sky Q e U de Stokes.

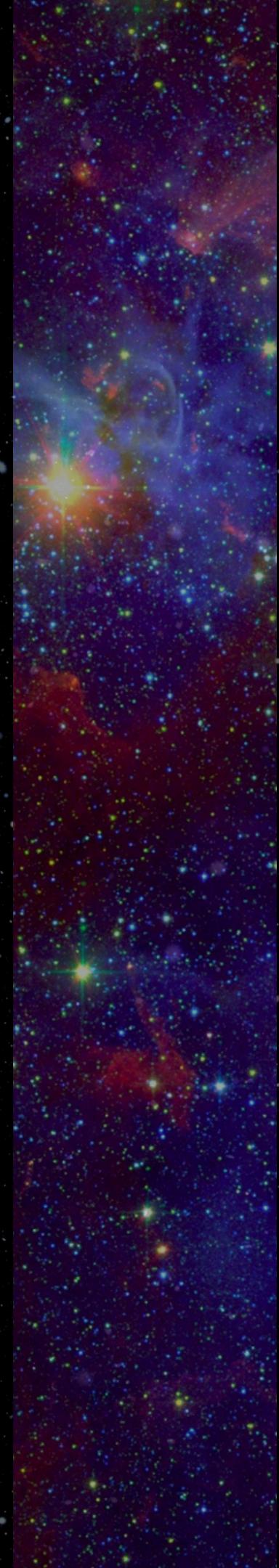
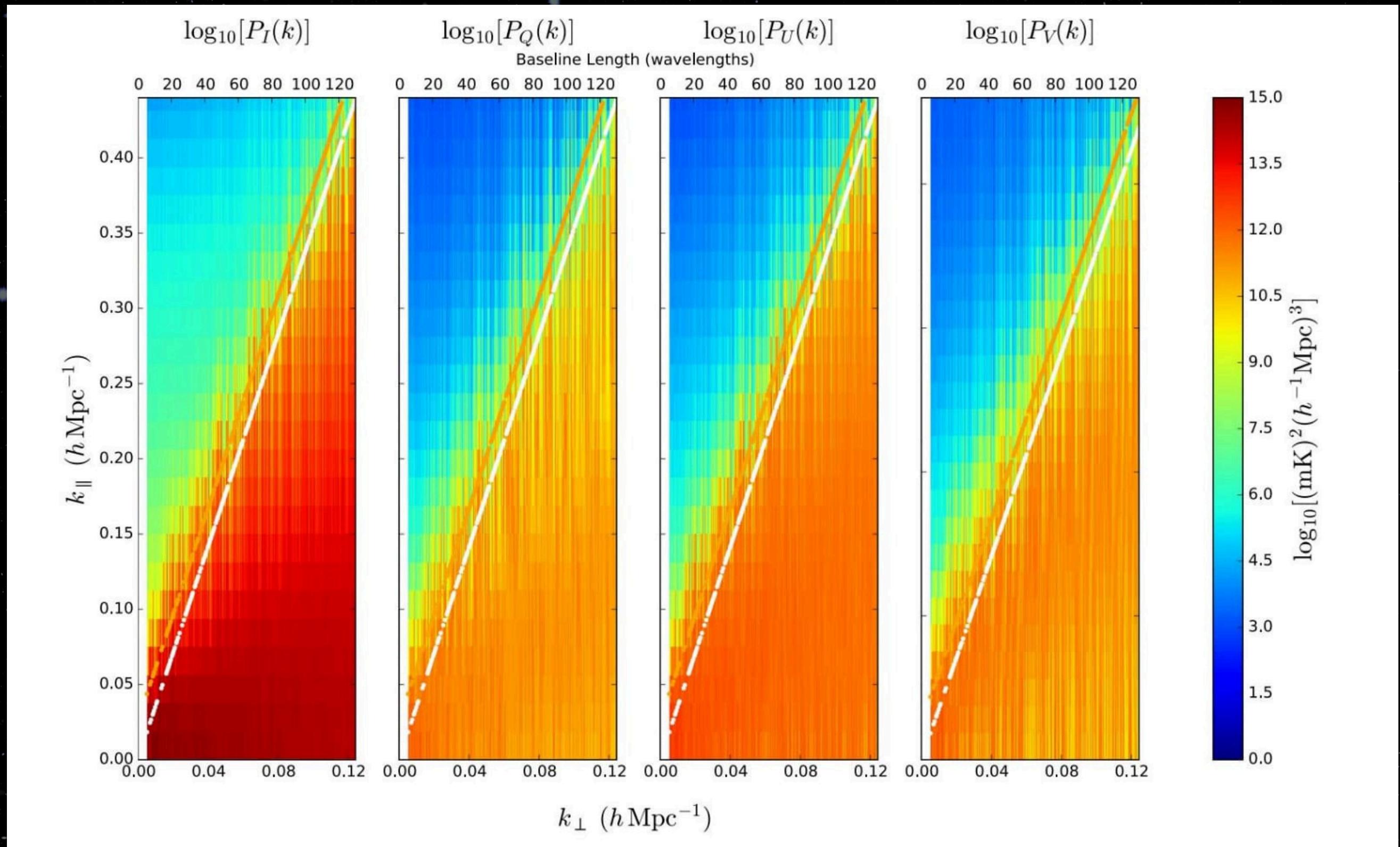
$$Q(\hat{r}, \nu) = P(\hat{r}) \cos\left(2 \phi \frac{c^2}{\nu^2}\right) \quad [9]$$

$$U(\hat{r}, \nu) = P(\hat{r}) \sin\left(2 \phi \frac{c^2}{\nu^2}\right)$$

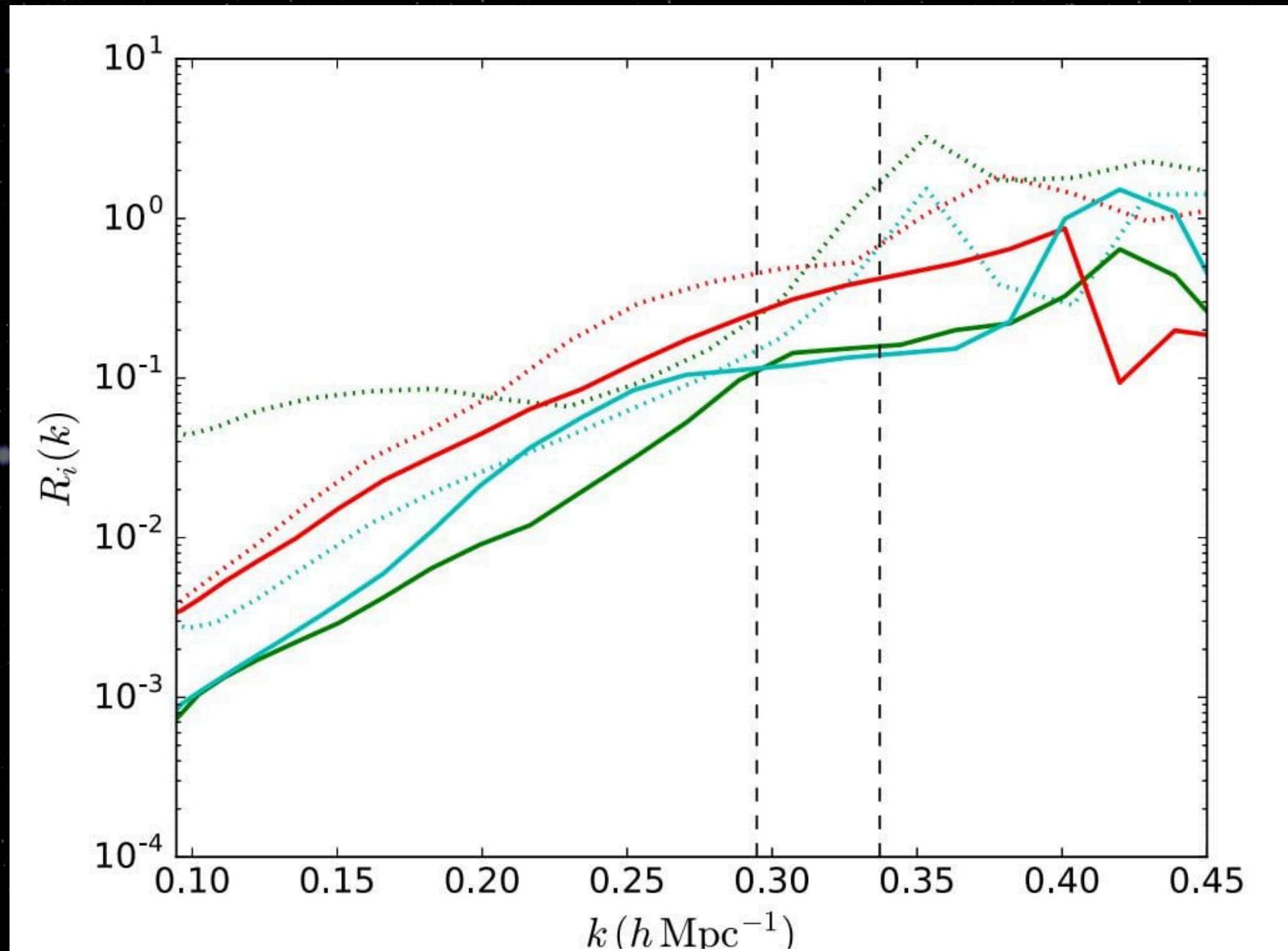


RESULTADOS

Polarized Power Spectra

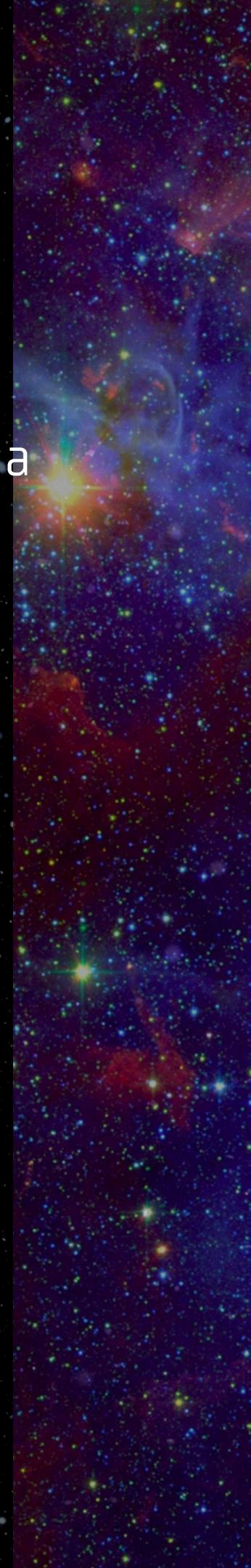


Polarized Power Spectra



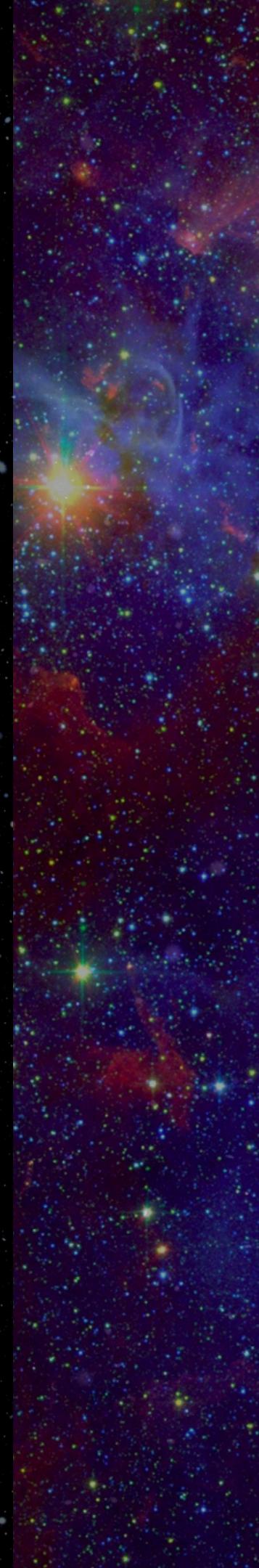
$$R_i(k) = \frac{p_i(k)}{p_I(k)}, \text{ with } i = Q, U, V,$$

Q (solid green),
 U (solid red), and
 V (solid cyan)
vs. I power spectra

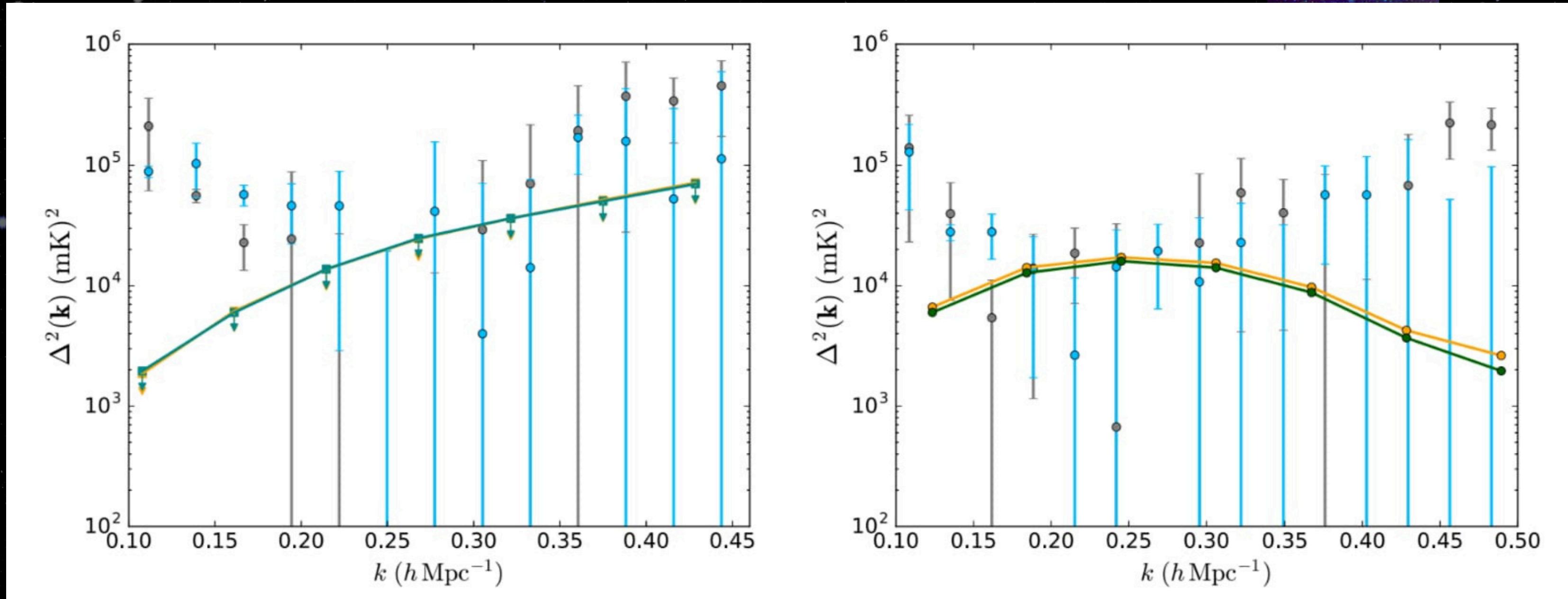
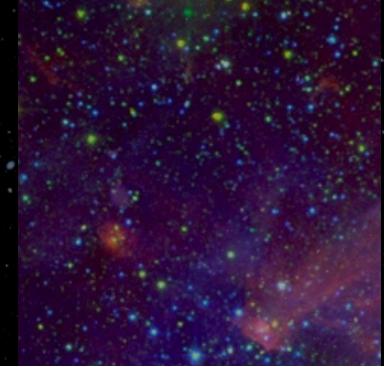


Predictions of Polarization Leakage

- Previsões nos piores cenários, devido a suposições conservadoras
- Foregrounds brilhantes, difuso e polarizado não são uma contaminação preocupante para o espectro de potência de 21 cm, desde que a sua emissão seja confinada em profundidades baixas de Faraday
- O conhecimento da distribuição de fonte pontual polarizada é mais relevante, pois pode contaminar altos modos de k



Constraining the Polarization Fraction

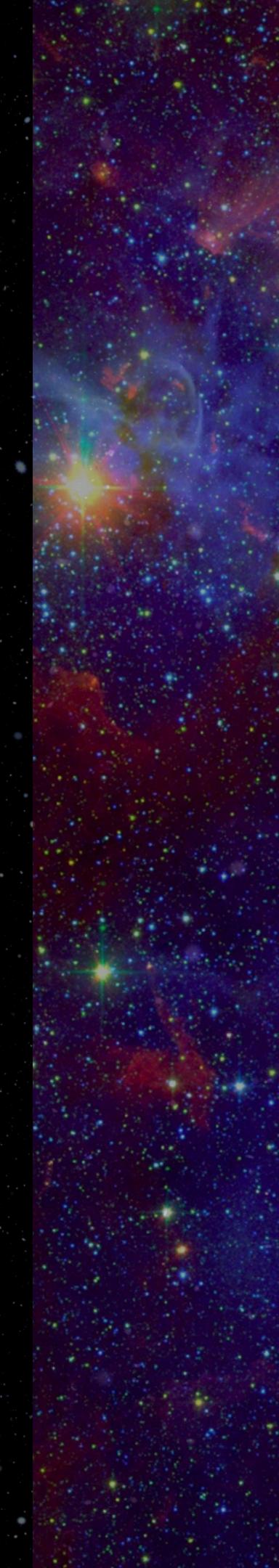


polarized power spectrum measurements from a 30 m baseline deep integration with the PAPER-32 array and simulations (Moore et al. 2015) e simulação para point-sources

Constraining the Polarization Fraction

Esses resultado foram usados para restringir o espectro de potência polarizado:

$$\Delta_{Q'}^2 = \frac{\langle \Delta_{Q,U}^2 \rangle_{\Delta k}}{\langle \Delta_{Q_m,U_m}^2 \rangle_{\Delta k}} \Delta_Q^2 = r \Delta_Q^2,$$



OBRIGADO

<https://arxiv.org/abs/1707.04109>