



Contribution ID: 46

Type: not specified

Caracterização das estrelas B do campo 13 da missão Kepler/K2: Análise de séries temporais, espectroscopia e evolução estelar

B. V. H. V. Silva^{1*}

*bergersonvanhallen@gmail.com, bergersonsilva@utfpr.edu.br

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Guarapuava, Guarapuava-PR

Palavras-chave: variabilidade estelar; parâmetros atmosféricos; diagnóstico sísmico.

RESUMO

Este estudo apresenta uma análise das estrelas do tipo espectral B observadas durante a campanha 13 da missão Kepler/K2. Para investigar suas propriedades, foram realizadas análises fotométrica, espectroscópica, evolutiva e sísmológica. As curvas de luz foram geradas com o auxílio do código K2SC, enquanto a inspeção de frequências foi realizada com os algoritmos CLEANEST e IvS. Espectros ópticos na faixa do azul foram obtidos para 24 dessas estrelas. A determinação dos parâmetros astrofísicos foi efetuada utilizando os programas SME e MESA. Adicionalmente, implementou-se um método sísmico simplificado para investigar a frequência média de rotação interna (ν_{rot}) e o tempo de deslocamento do empuxo (P_0) das estrelas. A classificação da variabilidade estelar foi auxiliada por meio de um diagrama de cor e magnitude.

INTRODUÇÃO

A missão K2 foi observada pelo telescópio Kepler durante aproximadamente 80 dias. Na Campanha 13 (C13), os dados fotométricos foram integrados entre 08/03/2017 e 27/05/2017. Exemplos de variabilidade incluem estrelas do tipo Slowly Pulsating B-stars (SPB), híbridas (SPB/ β Cep), MAIA, estrelas com excesso de potência em baixas frequências (Internal Gravity Waves –IGW ou Stochastic Low Frequency –SLF) e estrelas que exibem binariedade (BIN), rotação (ROT) ou ambos. Utilizando o Data Release 3 (DR3) do GAIA, foi possível construir um diagrama cor-magnitude. A pesquisa fotométrica com curvas de luz, espectro de frequências, mapa de cor Wavelet e parâmetros fornecidos pelo GAIA DR3 permite uma caracterização abrangente dessas estrelas da C13. Este estudo classifica com maior precisão as estrelas B da C13 em relação aos estudos anteriores, pois os parâmetros atmosféricos são obtidos via análise espectral, o que permite caracterizar esses alvos de forma evolutiva. A estrutura do estudo é a seguinte: apresentação do diagrama cor-magnitude do GAIA, diagnóstico fotométrico, diagnóstico sísmico, espectroscopia estelar e dos parâmetros evolutivos. Em seguida, alguns dos principais resultados obtidos são detalhados, seguidos pelas conclusões.

MATERIAIS E MÉTODOS

A equação da magnitude absoluta na banda G é descrita como:

$$M_G = G + 5 - 5 \log_{10} r - A_G, \quad (1)$$

com G sendo a magnitude aparente, r é a distância e A_G a extinção. A Eq. (1) é utilizada na confecção do diagrama de cor-magnitude GAIA. As curvas de luz são fornecidas pelo Centro de Pesquisa Ames da NASA. As curvas de luz são retificadas conforme os erros sistemáticos usando a Correção Sistemática K2 (K2SC). Foi empregado o algoritmo CLEANEST para análise temporal em séries temporais irregulares. A análise incluiu um método de pré- whitening que ajusta uma função:

$$F(t_i) = \mu + C + \sum_{i=1}^{n_f} A_i \sin[2\pi(\nu_i t_i + \phi_i)] + \epsilon_i, \quad (2)$$

ao sinal original, com ν_i sendo o ruído gaussiano, C um parâmetro de correção em (a mediana do fluxo), e A_i , ν_i e ϕ_i são a amplitude, frequência e fase, respectivamente. Esse processo auxilia a detectar sinais nas curvas de luz. Takata et al. (2020) descrevem um método simplificado de asterosismologia para identificar a frequência de rotação e os períodos dos modos-g em estrelas SPB baseado na convergência de:

$$f_k(\nu_{rot}) \sqrt{\frac{\Delta_k \nu}{m \Delta_k n}} = \sqrt{P_0} \left(\frac{\nu_{k+\frac{1}{2}}}{m} - \nu_{rot} \right), \quad (3)$$

e também de

$$f_k(\nu_{rot}) = \left[\frac{-1}{(m \Delta_k \nu) \Delta_k} \left(\frac{\sqrt{\lambda_{m,m}(s)}}{\nu_{co}} \right) \right]^{\frac{1}{2}} (\nu_{k+\frac{1}{2}} - m \nu_{rot}). \quad (4)$$

As diferenças são dadas por $[\nu_{rot}^{(i)} - \nu_{rot}^{(i+1)}]$ e $[P_0^{(i)} - P_0^{(i+1)}]$, com k sendo um contador, $\Delta_k \nu = \nu_{k+1} - \nu_k$ é a diferença entre as frequências e $\nu_{k+\frac{1}{2}} = (\nu_k + \nu_{k+1})/2$. Os modos setoriais são $l = m > 0$, $2\Omega_{core}/\omega_{nlm} > 1$ (frequência de pulsação angular na estrutura de coroa), $\sqrt{\lambda_{m,m}(s)} \approx m$. Os espectros na região azul (3900 a 4900 Å) foram obtidos a partir de observações no Observatório Pico dos Dias/Laboratório Nacional de Astrofísica (OPD/LNA) com o telescópio Perkin-Elmer de 1,6 m e espectrógrafo Cassegrain. Os demais alvos foram obtidos pelo banco de dados do LAMOST. Os parâmetros estelares, como T_{eff} , $\log g$ e $v_{sen i}$, são obtidos por meio de modelos atmosféricos e com incertezas calculadas pelo método de Monte Carlo. O código evolutivo MESA foi utilizado em um modelo de queima de hidrogênio no núcleo, não considerando a rotação estelar. Os parâmetros estimados pelo SME são usados para calcular luminosidade, massa e raio de algumas estrelas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se nessa seção os principais resultados das estrelas B do C13 da missão K2. O acervo gráfico auxilia na determinação da classificação em variabilidade estelar e classe espectral com base na literatura. O diagrama cor-magnitude é confeccionado a partir dos dados provenientes do GAIA. A estrela EPIC 210853356 tem os seguintes resultados fotométricos: $N_{tot} = 15$, $\nu_{max} = 1,06 \pm 0,01 d^{-1}$, $A_{max} = 855$ ppm, $\nu_{rot} = 7,1 \pm 0,6 \mu\text{Hz}$ e $P_0 = (8,7 \pm 0,8) \cdot 10^3$ s de variabilidade SPB e de resultados atmosféricos e evolutivos sendo: $T_{eff} = 13500 \pm 300$ K, $\log g = 3,8 \pm 0,1$ (dex), $v_{sen i} = 110 \pm 30$ Km/s, $\log(L/L_{\odot}) = 2,7_{-0,1}^{+0,2}$, $M/M_{\odot} = 4,4_{-0,3}^{+0,5}$, $R/R_{\odot} = 4,9_{-0,7}^{+0,8}$ e Idade = $(84,9_{-30,7}^{+19,9}) \times 10^6$ anos, da classe B9V. O diagrama Hertzsprung-Russel descreve as posições das estrelas do C13 em análise e a comparação entre as luminosidades do GAIA e do programa MESA se faz necessária.

CONCLUSÕES

Subsequente a análise de 67 estrelas do campo, destaca-se as seguintes classes de variabilidade: 9 SPB, 15 SPB/IGW, 2 SPB/BIN, 1 IGW (SLF), 3 ROT, 13 ROT/BIN, 1 ROT/SPB, 1 ROT/MAIA, 9 MAIA, 5 MAIA/IGW, e 7 AP. Os dados espectrais de 24 estrelas permitiram a determinação de parâmetros atmosféricos e evolutivos. A temperatura efetiva (T_{eff}) desempenhou um papel crucial na distinção das classes de variabilidade. A abordagem sísmica em estrelas SPB resultou na obtenção de ν_{rot} e P_0 para 5 desses alvos. A classe IGW ou SLF se manifestou em várias estrelas de forma híbrida, e o mapa Wavelet desempenhou um papel fundamental na identificação das frequências proeminentes ao longo do tempo da amostra, contribuindo para uma compreensão mais profunda da variabilidade estelar.

REFERÊNCIAS

- Aigrain, S.; Parviainen, H.; Pope, B. J. S. K2SC: flexible systematics correction and detrending of K2 light curves using Gaussian process regression. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 459, p. 2408–2419, jul. 2016.
- Balona, L. A. et. al, Kepler observations of the variability in B-type stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 413, p. 2403–2420, jun. 2011.
- Bowman, D. M. et al, Low-frequency gravity waves in blue supergiants revealed by high-precision space photometry. *Nature Astronomy*, v. 3, p. 760–765, ago. 2019.
- Foster, G., The cleanest Fourier spectrum. *The Astronomical Journal*, v. 109, p. 1889–1902, abr. 1995.
- Paxton, B. et. al., Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA). *The Astrophysical Journal Supplement Series*, v. 192, p. 3, jan. 2011.
- Pereira, A. W. et al. Characterizing B stars from Kepler/k2 Campaign 11 - Optical analysis and seismic diagnostics. *A&A*, 686:A20, mai. 2024.
- Takata, M. et. al, A diagnostic for γ Doradus variables and slowly pulsating B type stars. *Astronomy & Astrophysics*, v. 635, p. A106, fev. 2020.

Author: SILVA, Bergerson (Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Guarapuava (UTFPR))

Presenter: SILVA, Bergerson (Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Guarapuava (UTFPR))

Session Classification: Astrofísica Solar e Estelar