

USO DA TÉCNICA DE ANÁLISE DE FLUTUAÇÕES COM REMOÇÃO DE TENDÊNCIAS PARA O ESTUDO DE ESTRELAS VARIÁVEIS.

Bianca Ramielly Bomfim de Jesus¹; Marildo Geraldête Pereira².

1. Bolsista FAPESB, Graduada em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana,
email:biancaramielly@hotmail.com

2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana,
email:marildogp@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: *Variabilidade Estelar, Fotometria, DFA.*

INTRODUÇÃO

Estrelas variáveis são objetos de grande interesse na astrofísica, pois as mesmas nos permitem extrair várias informações sobre os processos físicos e as condições em que estes acontecem. A variabilidade estelar é uma das mais populares e dinâmicas áreas da astronomia, por conta de ser uma propriedade comum a maioria das estrelas. Ela nos provê com certos parâmetros, dentre eles: escalas temporais e amplitudes. Estes parâmetros, os quais são disponíveis apenas para estrelas com esta característica, podem ser utilizados para extrair propriedades físicas, como: massa, luminosidade, rotação, entre outros. O estudo da variabilidade nos permite a observação direta das mudanças que ocorrem nas estrelas, indo das mais rápidas e violentas, relacionadas com o nascimento e morte de estrelas, até as mudanças mais lentas, relacionadas com a evolução estelar normal [Percy 2007].

Na astronomia observacional, os fenômenos de variabilidade podem ser observados por meio da fotometria da radiação eletromagnética proveniente da estrela, esta é então transformada em uma série temporal, denominada de curva de luz, que descreve a variação do brilho da fonte em função do tempo. Tais curvas de luz, podem ser analisadas por diversos métodos, o que dependerá dos objetos a serem estudados.

Este trabalho está focado primeiramente no estudo de duas classes de estrelas: a Sub anãs do tipo B (SdB) e O (SdO) e as Anãs Brancas (WDs). As SdBs e SdOs representam uma das fases evolutivas das estrelas de alta massa. Sendo encontradas entre a sequencia principal e as anãs brancas no diagrama Hertzsprung-Russel (HR) (Figura 1) [Heber 2009].

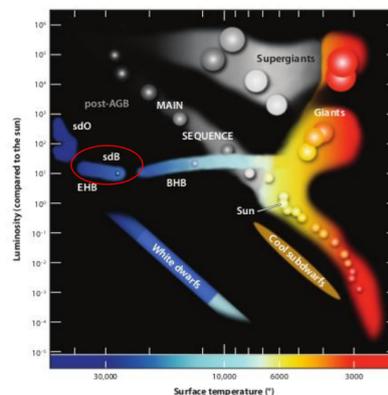


Figura 1: Diagrama HR, com destaque nas estrelas SdB, no extremo horizontal azul. [Heber 2009]

As estrelas anãs brancas são o estágio final da maioria das estrelas. Estima-se que mais de 97% das estrelas, incluindo o nosso sol se tornem WDs. Assim sendo, estas estrelas apresentam importantes informações a respeito da evolução de estrelas individuais [Althaus et al. 2010].

Lançado em 2009, o satélite Kepler, com sua estratégia observacional apresentou grandes oportunidades de observações de estrelas variáveis devido ao seu modo de operação e monitoramento. Com seu campo de observação fixado na direção da constelação do Cisne, sua estratégia de observação permitiu que estrelas variáveis pudessem ser observadas por longos períodos (meses-anos) com elevada resolução temporal (1min), permitindo assim que uma vasta casta de objetos variáveis fossem pela primeira vez observados e descobertos. As características dessas observações são adequadas para estudos de variabilidade fotométrica, de forma que uma abordagem usando a Análise de Flutuações com Remoção de Tendências (do inglês *Detrended Fluctuation Analysis* – DFA) se mostra adequada para este tipo de observações, como já demonstrado em trabalhos anteriores [Zebende et al. 2005, Zebende, Fernandez e Pereira 2016]. Os dados públicos do Kepler podem ser encontrados no *Nasa Exoplanet Archive*¹, e podem ser encontrados no modo de longa cadência (obtem uma integração a cada 30 min), ou como usado neste trabalho, curta cadência (obtem uma integração a cada 58.85s).

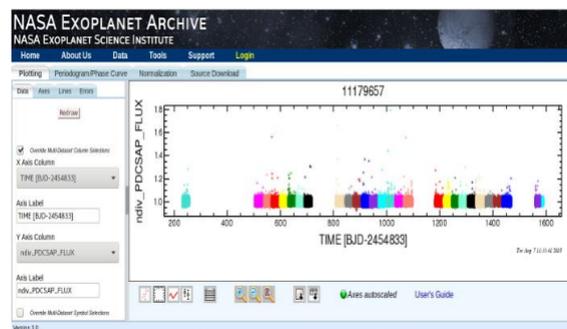


Figura 2: Exemplo de uma curva de luz normalizada por divisão, presente no banco de dados do kepler.

Metodologia

Para a análise das curvas de luz foi utilizado o método de Análise de Flutuações Depuradas de Tendências (do inglês *Detrended Fluctuation Analysis* - DFA). Este método foi desenvolvido por [Peng et al. 1994], e consiste em se determinar a correlação da memória de escala (ou correlação de longo alcance) de um determinado fenômeno que ocorre em uma determinada escala, no caso deste trabalho uma escala de tempo.

Ao aplicar o método DFA² às curvas de luz, o programa gera um gráfico, conforme observado na Figura 3. Após isto, para cada escala temporal relacionada com um coeficiente de correlação α são determinados os limites temporais de variabilidade para aquele dado coeficiente.

¹<https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>

²O código DFA pode ser encontrado em: <https://www.physionet.org/physiotools/dfa/>

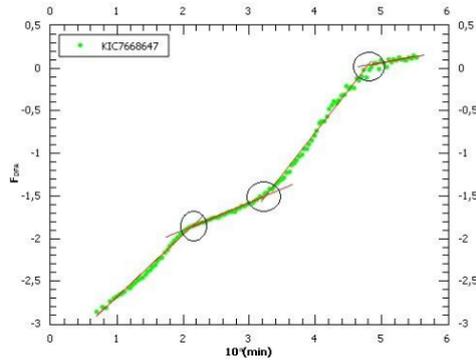


Figura 3: Curva de Luz após o uso do *DFA*, mostrando a regressão linear das suas partes lineares, sendo destacadas as suas intersecções.

No gráfico contido na Figura 3, pode-se encontrar o α DFA a partir da regressão linear das partes lineares entre as intersecções. A intersecção das linhas contínuas em $F_{DFA}(n)$ representa o limite da transição de um tipo de variabilidade para outra, e o valor do expoente α_{DFA} comprova este fato [Zebende, Fernandez e Pereira 2016].

Resultados

Para uma primeira análise foram simuladas (em linguagem de programação R) duas séries temporais, as quais apresentam um comportamento de Ruído Branco e Ruído Browniano, sendo então feita uma análise DFA para ambas as séries. Fazendo esta análise podemos relacionar o coeficiente de correlação α com os resultados a serem obtidos com a análise das séries temporais das fontes a serem analisadas.

Os coeficientes de correlação encontrados para as duas séries temporais, $\alpha = 0,49$ para o ruído branco e $1,5$ para o ruído browniano estão de acordo com os valores encontrados em literatura [Peng et al. 1995], com $\alpha \sim 0,5$ para um série que apresenta um comportamento característico de ruído branco e $\alpha \sim 1,5$ para uma série com comportamento de ruído browniano.

Por meio da investigação sobre fontes estelares do tipo sdB e WD observadas pelo Satélite Kepler, encontradas na literatura [Zong 2016, McNamara, Jackiewicz e McKeever 2012], de acordo com os critérios de terem uma cobertura temporal grande e observadas no modo de curta cadência, mostradas nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Fontes WD

KIC1718290	KIC10536147
KIC2697388	KIC10799291
KIC3544662	KIC11302565
KIC6866662	KIC11953267
KIC8619526	KIC7540755
KIC9020774	

Tabela 2: Fontes sdB pulsantes

KIC0267388	KIC10139564
KIC02991276	KIC10553698
KIC02991403	KIC10670103
KIC03527751	KIC11179657
KIC05807616	KIC11558725
KIC07664467	KIC02438324(B4)
KIC07668647	KIC08302197
KIC10001893	

Conclusão

Neste trabalho foi feita uma simulação de variabilidades associadas com uma série aleatória, caracterizada por ruído branco, e uma associada com variabilidade browniana, encontrando-se os valores para os coeficientes de correlação de longa escala de acordo com a literatura. Também foi feito um levantamento de 26 fontes, sendo 15, estrelas sub anãs quentes e 11 estrelas anãs brancas, à serem analisadas futuramente.

Referências

- ALTHAUS, L. G. et al. Evolutionary and pulsational properties of white dwarf stars. *The Astronomy and Astrophysics Review*, Springer, v. 18, n. 4, p. 471–566, 2010.
- HEBER, U. Hot subdwarf stars. *Annual review of Astronomy and Astrophysics*, Annual Reviews, v. 47, p. 211–251, 2009.
- MCNAMARA, B. J.; JACKIEWICZ, J.; MCKEEVER, J. The classification of kepler b-star variables. *The Astronomical Journal*, IOP Publishing, v. 143, n. 4, p. 101, 2012.
- PENG, C.-K. et al. Mosaic organization of dna nucleotides. *Physical review e*, APS, v. 49, n. 2, p. 1685, 1994.
- PENG, C.-K. et al. Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, AIP, v. 5, n. 1, p. 82–87, 1995.
- PERCY, J. R. *Understanding variable stars*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2007.
- ZEBENDE, G. et al. Universal persistence in astrophysical sources. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Elsevier, v. 349, n. 3-4, p. 452–458, 2005.
- ZEBENDE, G. F.; FERNANDEZ, B. F.; PEREIRA, M. G. Analysis of the variability in the sdB star kic 10670103: Dfa approach. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford University Press, v. 464, n. 3, p. 2638–2642, 2016.
- ZONG, W. *Amplitude and frequency modulations of oscillation modes in hot B subdwarf and white dwarf stars from Kepler photometry*. Tese (Doutorado) — Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2016.