

## ANÁLISE QUÍMICA DE ESTRELAS GIGANTES VERMELHAS

**Autor<sub>1</sub>: Fortes, M. A., Autor<sub>2</sub>: Pompéia, L.; Autor<sub>3</sub>: Costa, R.; Autor<sub>4</sub>: Baravelli, D. G.; orientador: Pompéia, L.**

<sup>1</sup>Instituição: Univap/Departamento: IP&D, Endereço, e-mail: Corelio-fortes@hotmail.com, pompéia@univap.br, rafaelcosta@hotmail.com, douglas\_gotti@yahoo.com.br

**Resumo-** As estrelas gigantes vermelhas, de tipo espectral M, são estrelas em um estágio evolutivo mais adiantado do que o do Sol. Estas estrelas são estrelas frias, com temperaturas da ordem de 4000 K, apresentando uma cor avermelhada, e possuem um diâmetro muito maior que o solar, assim são classificadas como gigantes (o Sol por exemplo é uma estrela anã). Dependendo da etapa evolutiva em que se encontra uma estrela M, ela pode estar produzindo elementos químicos em seu interior e dragando (transportando) esses elementos para a atmosfera estelar. Se já houve bastante dragagem desses elementos para a atmosfera estelar, é possível se observar uma assinatura desses elementos no espectro estelar. No presente trabalho estaremos descrevendo as etapas preliminares da análise de 5 estrelas de tipo espectral M, para a obtenção dos parâmetros estelares, e a confecção da lista de linhas que será analisada em uma etapa posterior.

**Palavras-chave:** estrelas: abundâncias, estrelas: gigantes vermelhas, estrelas: elementos-s

**Área do Conhecimento:** astrofísica estelar

### Introdução

A maior parte dos elementos químicos que estão dados na Tabela Periódica são elementos que foram sintetizados, isto é, formados no interior de estrelas. Os elementos mais leves que existem, H, He, Li e B foram formados logo após o Big Bang, na chamada nucleossíntese primordial; praticamente todos os outros elementos foram ou estão sendo formados em estrelas. O tipo de formação desses elementos (nucleossíntese) depende basicamente do estágio evolutivo em que se encontra a estrela. As estrelas anãs como o Sol desenvolvem, após cerca de 10 bilhões de anos, uma atmosfera estendida (inflada), tornando-se estrelas gigantes vermelhas. Em uma fase mais avançada, essas estrelas começam a pulsar e formar elementos mais pesados que o ferro por um processo de síntese chamado processo-s (processo de síntese por captura lenta de nêutrons). Exemplos de elementos químicos formados nesse tipo de processo são o Lantânio, La, o Bário, Ba, o ítrio, Y, e o Zircônio, Zr. Esses elementos são posteriormente dragados para a superfície estelar e podemos então observar linhas pronunciadas desses elementos nos espectros dessas estrelas.

No presente trabalho apresentamos os passos preliminares para a obtenção de abundâncias químicas de Ca, Fe, Ti, Zn, Zr, Ba e Y em estrelas gigantes vermelhas M, que distam do Sol até 793.65 parsecs<sup>1</sup>. Nossa lista de estrelas possui

objetos em diferentes etapas evolutivas. Objetivamos saber se essas estrelas já possuem uma quantidade significativa de elementos-s em suas atmosferas.

### Metodologia

Foram obtidos na literatura dados fotométricos e trigonométricos para a obtenção dos parâmetros físicos das estrelas. Os parâmetros físicos de uma estrela são, em linhas gerais, sua temperatura atmosférica, massa, gravidade superficial, abundância de ferro, e velocidade de microturbulência (que descreve os movimentos das células convectivas em sua atmosfera). Os nomes das estrelas aqui trabalhadas e as coordenadas dessas estrelas estão listados na Tabela 1. Na Tabela 2 são dadas as paralaxes e as distâncias das mesmas até o Sol.

Tabela 1 - Estrelas estudadas com suas respectivas coordenadas equatoriais:  $\alpha$  - ascensão reta, e  $\delta$  - declinação.

Estrelas	$\alpha$	$\beta$
HD 20720	03 19 31.0019	- 21 45 28.310
RR Eri	02 52 14.1849	- 08 16 01.445
R Cet	02 26 02.3160	- 00 10 41.810
GZ Peg	23 09 31.4570	+ 08 40 37.778

<sup>1</sup> 1 parsec = 3.26 anos-luz

Tabela 2- Paralaxes e distâncias das estrelas.

Estrelas	Paralaxes*	Distancia (pc)
HD 20720	4.28	79.18
RR Eri	-1.26	337.84
R Cet	2.96	793.65
GZ Peg	12.63	233.64

\*1997A&A...323L..49P

A partir dos dados fotométricos disponíveis na literatura, das distâncias e de cálculos baseados em teorias de formação e evolução estelar, faremos em um segundo momento a inferência dos parâmetros estelares desses objetos.

Em seguida será feita a determinação das abundâncias estelares. Para isso necessitamos de uma lista de linhas atômicas dos elementos os quais desejamos estudar. Essa lista deve conter o comprimento de onda da linha (assinatura espectral) e os dados dessa linha, a saber, o potencial de excitação da linha, que é a energia do nível inferior da transição em questão, e a força de oscilador da linha, que indica a probabilidade de ocorrência da transição correspondente àquela linha. Listamos na Tabela 3 parte da lista de linhas escolhida para a análise química de nossa estrelas. Como as estrelas de tipo M são estrelas frias, grande parte do espectro dessas estrelas é contaminado pela presença de bandas moleculares, principalmente de transições de TiO, CH e CN. Essas bandas dificultam grandemente a análise química, e somente em regiões livres de bandas é que podemos trabalhar com os espectros.

#### Dados Espectroscópicos

A análise química é sempre feita sobre o trabalho de linhas espectrais. Os espectros aqui analisados foram obtidos com o espectrógrafo FEROS (Fiber Fed Extended Range Optical Spectrograph), do ESO (European Southern Observatory) – La Silla, no Chile, em novembro de 1999. Nas Figuras 1 e 2 mostramos o espectro da estrela HD 20720, na região de 8230 Å e 8248 Å, respectivamente. Estas regiões em particular são livres de transições moleculares e portanto próprias para análise química.

Tabela 3 – Lista de linhas.

Elemento Químico	$\lambda$ (Å)	$\chi_{exc}$ (eV)	log gf
Ti I	7337.78	2.24	-1.37[1]
	7474.94	1.75	-1.98[1]
	7496.12	2.24	-0.88[1]
	7978.815	1.89	-1.02[3]
	8024.842	1.88	-1.14[3]
	8068.238	1.87	-1.28[3]
	8334.390	0.82	-2.64[3]
8353.161	0.81	-2.68[3]	
Fe I	7418.67	4.14	-1.54[1]
	7418.67	4.95	-0.97[1]
	7454.02	4.19	-2.43[1]
	7478.87	3.37	-3.84[1]
	7418.67	4.12	-1.59[2]
	7443.03	4.17	-1.83[2]
Y I	7450.32	1.74	-1.88[1]
Zr I	6127.475	0.15	-1.06[3]
	7439.89	0.54	-1.81[1]
	7553.00	0.51	-2.71[1]
	7554.73	0.51	-2.28[1]
	7558.41	1.54	-1.47[1]
Ba I	6110.779	1.19	+0.44[3]
	6527.309	1.14	+0.27[3]
	7392.41	1.57	+0.09[1]
Nd II	7513.73	0.92	-1.18[1]
Al I	8772.865	4.02	-0.32[3]
	8773.896	4.02	-0.14[3]

[1] Smith, V.V., Lambert, 1990

[2] Smith, V.V., Lambert, 1985

[3] Woolf, V.M & Wallerstein, 2004

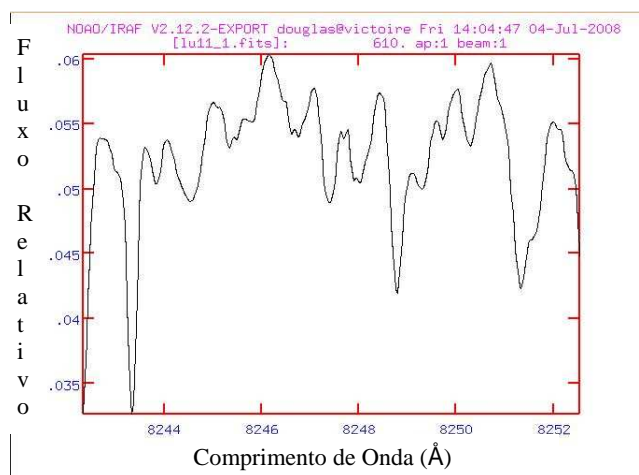


Figura 1- Espectro da estrela GZ Peg, ampliado nos comprimentos de onda entre 8244 Å e 8252 Å. O eixo das ordenadas mostra o comprimento de onda em ângstroms, e o eixo das abscissas mostra o fluxo relativo.

Após a obtenção dos espectros, há o procedimento de redução espectral, que, no caso em questão de espectros do FEROS, consiste em corte dos espectros, retirada dos raios cósmicos, retirada das linhas atmosféricas da Terra, definição do contínuo, obtenção das velocidades radiais das estrelas (velocidade de afastamento ou aproximação) e correção em *redshift*. Todos esses processos são realizados utilizando o programa de redução espectral IRAF.

Nas Figuras 1 e 2 mostramos o espectro da estrela GZ Peg. As estruturas com forma de sino invertida são as linhas espectrais, que são devidas a transições de elétrons ligados a um átomo na atmosfera da estrela. Cada elemento como, por exemplo, o Ferro e o Bário, possuem centenas de transições eletrônicas, e assim, de linhas espectrais. O tratamento das linhas espectrais para a obtenção das abundâncias dos elementos requer primeiramente o conhecimento dos dados atômicos de cada linha. Na Tabela 3, segue um exemplo da lista de linhas. A lista de linhas compreende o comprimento de onda central de cada linha ( $\lambda$ , 1ª coluna), o potencial de excitação da linha ( $\chi_{exc}$  - energia do nível inferior da transição em eV), e o logaritmo da força de oscilador ( $\log gf$ ), que corresponde à probabilidade de ocorrência da transição em questão. Obtivemos os dados de  $\log gf$  a partir do trabalho de Woolf et al. (2005) e da base de dados VALD (<http://www.astro.uu.se/~vald/>).

A lista de linhas deve relacionar, para todas as transições que se deseja trabalhar, os dados de cada transição. Estes são utilizados posteriormente nos cálculos das abundâncias dos elementos. Com os dados físicos estelares e os dados das linhas, utilizamos um programa especial para a obtenção das abundâncias. A abundância final de um elemento corresponde à mediana obtida do conjunto de todas as linhas do átomo ou íon em questão.

## Discussão e Conclusões

As estrelas gigantes vermelhas passam por um estágio evolutivo no qual produzem um determinado grupo de elementos químicos, por um processo de captura de nêutrons, que são mais pesados que o ferro, os chamados elementos-s ou elementos produzidos pelo processo-s. Esses elementos, depois de sintetizados, são dragados para a atmosfera da estrela e podem ser observados a partir de suas linhas espectrais

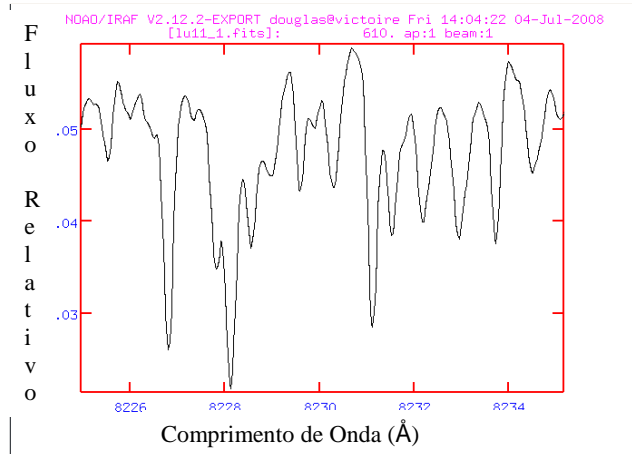


Figura 2- Espectro da estrela GZ Peg, ampliado nos comprimentos de onda entre 8225 Å e 8235 Å. O eixo das ordenadas mostra o comprimento de onda em ângstroms, e o eixo das abscissas mostra o fluxo relativo.

muitas vezes em excesso com relação a estrelas de composição química “normal”. A partir dessa análise pode-se determinar mais apuradamente o estágio evolutivo em que se encontra a estrela em questão. Outro objetivo da análise química é a obtenção de dados para o conhecimento do mecanismo de formação dos elementos do processo-s, que depende também das teorias de estrutura estelar e da astrofísica nuclear.

No presente trabalho apresentamos as etapas preliminares para a análise química de 4 estrelas gigantes vermelhas. Será feita tanto a análise fotométrica para a obtenção preliminar dos parâmetros estelares, como a análise espectral, para o cálculo final dos parâmetros estelares. De posse desses dados faremos através da utilização de um programa apropriado para a análise química dessas estrelas e obteremos as abundâncias dos elementos listados anteriormente. Tais abundâncias revelarão o estado evolutivo detalhado em que se encontra cada estrela e nos ajudará a melhor compreender como ocorre a nucleossíntese pelo processo-s nas estrelas de nossa galáxia.

## Referências

- <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/> Acesso em: 26 de abril de 2008 as 13:30 h
- SWMITH, V.V., LAMBERT, L. D., The Chemical Of Red Gigants. III. Further Cno Isotopic And s-Process Abundances In Thermical Pulsing Asympyotic Gigant Branch Stars, 1990, ApJ, 361L, 69.
- SWMITH, V.V., LAMBERT, L. D., The Chemical Composition Of Red Gigants. I. Dredge-up in the M and MS stars, 1985, The Astrophysical Journal. 1985.ApJ.294,326
- WOOLF, M.V.,WALLERSTEIN, G. Metallicity Measurements Using Atomics Lines in M and K Dwarf Stars, 2005, Disponível em: <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0410452v1>. Acesso em: 08 ago. 2008
- WOOLF, V. M., WALLERSTEIN, G. Chemical Abundance Analysusn of Kapteyn's Star, 2004, Disponível em: <http://www.astro.washington.edu/vmw/dwpap.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2008