

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Astronomia

Rafael Pereira Nunes

Abundâncias de Sódio (Na) e Európio (Eu) em estrelas de campo do bojo Galáctico

São Paulo

2025

Rafael Pereira Nunes

Abundâncias de Sódio (Na) e Európio (Eu) em estrelas de campo do bojo Galáctico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências
Atmosféricas da Universidade de São Paulo
como requisito parcial para a obtenção do título
de Bacharel em Astronomia.

Área de Concentração: Pesquisa Básica

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Beatriz L. S. Barbuy

São Paulo

2025

À minha Grande Família.

Agradecimentos

Elaboro estes agradecimentos principalmente aos meus pais, Antonio Carlos e Márcia Cristina, e à minha irmã, Mariana. Como grande motivadora nesse início de trajetória acadêmica, minha família é o âmbito mais importante, pois é com o seu apoio incondicional que consigo seguir em frente e, cada vez mais, exercer a humanidade.

Ao meu avô, Florismundo, eterno amigo e companheiro, que sempre esteve disponível a acompanhar esta caminhada. À minha avó, Maria Paula, que nunca mediu esforços para demonstrar seu apoio à família.

In memoriam, aos meus avós, Dalila e Antonio, que em vida não presenciaram esta etapa, mas que sempre estão em minhas lembranças e assim me acompanham. À minha prima, Tia de consideração, Regiane Nunes, que acompanhou praticamente até o fim e que, em todos nossos encontros, apoiava e demonstrava interesse em saber cada vez mais; novamente, o meu muito obrigado.

À minha orientadora, Beatriz Barbuy, que com sua expertise e humanidade, me fez encantar pela área da pesquisa acadêmica, onde me encontrei. Também, que sempre demonstrou apoio e responsabilidade com a trajetória da graduação, dois aspectos essenciais para esta conclusão.

A todos os meus professores e minhas professoras que me ensinaram durante a vida, fazendo com que a chegada na universidade não fosse algo desesperador e impossível. Minha completa e imensa admiração por todos vocês.

Aos professores do IAG, em especial à professora Elysandra Cypriano, que proporcionou grandes experiências com a divulgação e humanidade científica; e à professora Jane Gregorio-Hetem, que com o projeto TUnE, e todo seu apoio, proporcionou um último ano despreocupado com minha formação.

Às minhas melhores amigas de São Paulo, e do mundo, que tive a honra de conhecer graças à entrada na universidade, Maria Luísa (Malu Letras) e Maria Luiza (Malu Números). Nossas inúmeras conversas, piadas, reuniões, jantares, passeios e até festas, foram importantes para seguir este processo com leveza e enfrentar uma nova realidade totalmente desafiadora. Também agradeço aos meus amigos e amigas da república: Sarah, Denise, Arthur, Mateus; e vários outros que passaram e me acolheram.

Aos meus amigos virtuais, Fabio, Beyer, Bruno e Maria, que estão comigo há anos e que construímos uma forte união.

Aos monitores e monitoras de todas as disciplinas, que facilitaram a compreensão dos diversos temas complexos enfrentados.

Aos meus colegas de turma e de outros cursos. Nosso apoio conjunto, acadêmico e emocional, foi de grande importância para o enfrentamento das disciplinas.

À FAPESP, pelo apoio financeiro, sob o projeto nº: 2024/05122-1.

Ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas pela excelente infraestrutura e apoio estudantil constante.

Por fim, a todos aqueles que, embora não citados, proferiram palavras de apoio e conforto, todos foram fundamentais.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.”

Isaac Newton

Resumo

Na formação da Galáxia primordial o gás rapidamente se tornou denso, causando as primeiras explosões de supernovas massivas e a formação estelar. Neste cenário, ocorreu um rápido processo de enriquecimento químico no bojo Galáctico. O estudo das abundâncias químicas de estrelas do bojo pode revelar que tipos de supernovas ocorreram.

A amostra de dados deste trabalho consiste de observações realizadas com os espectrógrafos FLAMES/UVES e GIRAFFE instalados no *Very Large Telescope* do *European Southern Observatory*. Foram observadas estrelas de campo de diferentes regiões do bojo; delas, foram estudadas abundâncias químicas de Sódio (Na) e Európio (Eu). Outras análises de parte dessa amostra já foram publicadas anteriormente, porém com códigos que não levavam em consideração a associação de átomos em moléculas. Para o Na, as abundâncias se revelaram muito altas em [Lecureur et al. \(2007\)](#). Para o Eu, os resultados obtidos em [Van der Swaelmen et al. \(2016\)](#) se demonstraram dispersos. Portanto, o objetivo é investigar essa superabundância em Na e a dispersão em Eu.

Inicialmente, foram analisadas 43 estrelas observadas pelo UVES (Na e Eu), e posteriormente 438 estrelas pelo GIRAFFE (apenas Na).

Os resultados para o Na confirmaram a superabundância anômala em estrelas ricas em metais, um comportamento que persistiu mesmo com a nova metodologia. Para o Eu, mostrou-se que os dados deste trabalho são mais coesos e eliminam a grande dispersão reportada por [Van der Swaelmen et al. \(2016\)](#).

Portanto, a superabundância de Na é um desafio astrofísico real, enquanto a dispersão de Eu era um artefato de análise. Uma verificação inicial dos parâmetros atmosféricos das estrelas ricas em metais (com Na anômalo) sugere que eles estão corretos, deixando a origem desta superabundância como um problema em aberto para futuras investigações.

Abstract

During the formation of the primordial Galaxy, the gas rapidly became dense, causing the first massive supernova explosions and star formation. In this scenario, a rapid chemical enrichment process occurred in the Galactic bulge. The study of chemical abundances in bulge stars can reveal which types of supernovae occurred.

The data sample for this work consists of observations carried out with the FLAMES/UVES and GIRAFFE spectrographs installed at the *Very Large Telescope* of the *European Southern Observatory*. Field stars from different bulge regions were observed; from these, the chemical abundances of Sodium (Na) and Europium (Eu) were studied. Other analyses of parts of this sample have been previously published, but with codes that did not account for the association of atoms into molecules. For Na, the abundances were found to be very high in [Lecureur et al. \(2007\)](#). For Eu, the results obtained in [Van der Swaelmen et al. \(2016\)](#) appeared dispersed. Therefore, the objective is to investigate this overabundance of Na and the dispersion in Eu.

Initially, 43 stars observed with UVES (Na and Eu) were analyzed, and subsequently 438 stars with GIRAFFE (Na only).

The results for Na confirmed the anomalous overabundance in metal-rich stars, a behavior that persisted even with the new methodology. For Eu, it was shown that the data from this work are more cohesive and eliminate the large dispersion reported by [Van der Swaelmen et al. \(2016\)](#).

Therefore, the Na overabundance is a real astrophysical challenge, whereas the Eu dispersion was an analytical artifact. An initial check of the atmospheric parameters for the metal-rich stars (with anomalous Na) suggests they are correct, leaving the origin of this overabundance as an open question for future investigations.

Lista de Figuras

1.1	Figura de motivação da pesquisa.	22
2.1	Passo a passo para a obtenção de um valor de abundância.	26
3.1	Exemplo para cálculo de abundância em Na (Na/Fe).	29
3.2	Parâmetros atmosféricos da estrela BW-f1 (UVES).	30
3.3	Comparação espectral da estrela B6-f3 (UVES).	31
3.4	Comparação espectral GIRAFFE (HR13).	32
3.5	Exemplo de uma estrela de alta metalicidade.	34
3.6	Exemplo de uma estrela de baixa metalicidade.	35
3.7	Resultado Final (Na).	35
3.8	Exemplos para cálculo de abundância em Eu (Eu/Fe).	36
3.9	Resultado Final (Eu).	39
B.1	Alguns espectros de estrelas da região BW-b.	61
B.2	Alguns espectros de estrelas da região BW-f.	62
B.3	Alguns espectros de estrelas da região B6-b.	63
B.4	Alguns espectros de estrelas da região B6-f.	64

Lista de Tabelas

3.1	Valores de Sódio (Na) obtidos para as estrelas UVES.	28
3.2	Valores de Európio (Eu) obtidos para as estrelas UVES.	37
A.1	Tabela Final.	49
A.1	Continuação.	50
A.1	Continuação.	51
A.1	Continuação.	52
A.1	Continuação.	53
A.1	Continuação.	54
A.1	Continuação.	55
A.1	Continuação.	56
A.1	Continuação.	57
A.1	Continuação.	58
A.1	Continuação.	59

Sumário

1. Introdução	19
1.1 Base Teórica	19
1.2 Motivação e Objetivos	21
2. Dados e Metodologia	23
2.1 TURBOSPECTRUM	24
2.2 Análise Gráfica dos Espectros	24
2.2.1 Amostra UVES	24
2.2.2 Amostra GIRAFFE	25
2.3 Metodologia	25
3. Análise e Resultados	27
3.1 Sódio (Na)	27
3.1.1 43 estrelas	27
3.1.2 438 estrelas	27
3.1.3 Revisão dos Parâmetros Atmosféricos	29
3.1.4 Resultados	32
3.2 Európio (Eu)	36
3.2.1 Resultados	38
4. Conclusões	41
Referências	43

Apêndice 47

A. Tabela Final 49

B. Espectros de algumas estrelas 61

Introdução

1.1 Base Teórica

A composição química das estrelas de campo do bojo Galáctico oferece pistas fundamentais sobre os processos de enriquecimento químico que moldaram as fases iniciais da formação da Galáxia. Um dos padrões mais notáveis observados é a superabundância de elementos alfa — oxigênio (O), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e silício (Si) — juntamente com o alumínio (Al) e o titânio (Ti), que se comportam de forma análoga aos elementos alfa. Esses elementos refletem a nucleossíntese em estrelas massivas e são liberados no meio interestelar através de supernovas do tipo II (SNII), caracterizadas por seus tempos de vida curtos e capazes de provocar um enriquecimento químico rápido. Essa assinatura é especialmente evidente nas estrelas do bojo Galáctico, cujas populações preservam a memória de um ambiente de formação intenso e acelerado, dominado por SNII ([McWilliam, 2016](#); [Friaça & Barbuy, 2017](#)).

O Al, em particular, destaca-se pela sua correlação estreita com os elementos alfa, tanto em estrelas do halo quanto do bojo ([Barbuy, 1988](#); [McWilliam, 2016](#)), sugerindo que, apesar de não ser tecnicamente um elemento alfa, compartilha uma origem relacionada à nucleossíntese de altas temperaturas e pressões em estrelas massivas.

Já o sódio (Na), por outro lado, não segue essa correlação direta com os elementos alfa, mas exhibe enriquecimentos significativos em uma fração das estrelas observadas. Evidências acumuladas sugerem que tais enriquecimentos de Na estão associados à presença de múltiplas populações em aglomerados globulares. Essas múltiplas populações em aglomerados fazem referência a gerações estelares presentes nesse aglomerados, e aqui é importante deixar evidente a diferença entre população estelar e geração estelar. É com

população que estamos acostumados na astronomia, populações I, II e III referentes à metalicidade e formação de estrelas em diferentes períodos do Universo. Já as gerações em um aglomerado são subgrupos de estrelas que se formaram em diferentes episódios de formação estelar dentro do mesmo aglomerado. Nessas estruturas de múltiplas populações em aglomerados, as estrelas de segunda geração (2G) são caracterizadas por enriquecimentos em Na, Al e nitrogênio (N), acompanhados por depleções de O e carbono (C) (Carretta et al., 2009; Gratton et al., 2012; Bastian & Lardo, 2018). Essa assinatura química tornou-se essencial para distinguir estrelas de primeira geração (1G) das 2G, representando uma ferramenta poderosa para investigar a origem e a evolução dos aglomerados globulares e, por consequência, da própria Galáxia (Piotto et al., 2015; Milone et al., 2017).

Apesar da identificação clara desse padrão químico, o agente físico responsável pelos enriquecimentos em Na nas estrelas 2G ainda permanece incerto. As principais hipóteses incluem o autoenriquecimento por estrelas do Ramo das Gigantes Assintóticas (AGB), que ejetam material processado durante suas fases finais; e a possibilidade de poluição química decorrente da explosão de estrelas massivas no interior dos aglomerados (Bastian & Lardo, 2018; Renzini et al., 2015). Cada modelo apresenta desafios teóricos, como a necessidade de tempos suficientemente longos para o enriquecimento pelas AGB ou a retenção eficiente do gás enriquecido no cenário de estrelas massivas. Essa incerteza destaca a complexidade do problema das múltiplas populações estelares e reforça a relevância de estudos detalhados de abundâncias, especialmente do Na, como neste trabalho.

Paralelamente, o Európio (Eu) fornece um diagnóstico complementar para a arqueologia Galáctica, mas focado em processos de nucleossíntese distintos. O Eu é um elemento pesado canônico, considerado um traçador quase puro do processo de captura rápida de nêutrons (processo-r) (Mardini et al., 2024). A sua origem está ligada a eventos explosivos raros, como a fusão de estrelas de nêutrons (Fishlock et al., 2017), ou supernovas magneto-rotacionais (Lucertini et al., 2025). Nesse contexto, a abundância de Eu torna-se um traçador importante do histórico de formação estelar. Trabalhos recentes, como os de Horta et al. (2022) e Schiappacasse-Ulloa et al. (2025), têm utilizado a abundância de Eu relativa ao Ferro (Fe) ($[Eu/Fe]$) para tentar distinguir quimicamente as populações estelares formadas *in situ* no bojo daquelas acretadas de galáxias satélites (*ex situ*).

1.2 Motivação e Objetivos

A principal motivação deste trabalho vem de um artigo de [Barbuy et al. \(2023\)](#), onde foi estudada uma amostra de estrelas e analisadas suas abundâncias em Na e Al. Com os diversos dados de abundâncias reunidos e aplicados a um modelo de evolução química (Figura 1.1), foi notado que para o Na algumas estrelas apresentavam uma superabundância inconsistente com o modelo; estrelas essas referentes a [Lecureur et al. \(2007\)](#), que possivelmente não utilizou um código atualizado e eficiente para realizar os cálculos de abundância.

Portanto, a natureza do objetivo desta pesquisa nasce da utilização de um código atualizado e bem testado para calcular as abundâncias químicas, o TURBOSPECTRUM ([Plez, 2012](#)). Além disso, um ponto essencial em se trabalhar com este código é o fato dele considerar a associação de átomos em moléculas, pois assim as abundâncias de Na calculadas não sofrem uma inflação de seus valores como visto em [Lecureur et al. \(2007\)](#). Como dito na seção anterior, revisar os valores de Na também é interessante visando o estudo de estrelas 2G, que ainda é algo pouco aprofundado na astronomia.

De forma similar, a motivação para a análise do Európio (Eu) origina-se de inconsistências notadas na literatura. O trabalho de [Van der Swaelmen et al. \(2016\)](#), ao analisar espectros UVES de estrelas do bojo, reportou uma dispersão de $[Eu/Fe]$ consideravelmente grande em altas metalicidades. Tal dispersão é teoricamente inesperada, visto que elementos puros do processo-r deveriam exibir um comportamento químico coeso em uma população formada rapidamente ([Lombardo et al., 2025](#)). Este cenário levanta dúvidas se a dispersão observada é uma característica astrofísica real do bojo ou um artefato da análise. Sendo assim, um objetivo deste trabalho é reanalisar as abundâncias de Eu com a mesma metodologia aplicada ao Na, a fim de verificar a robustez dos resultados de [Van der Swaelmen et al. \(2016\)](#) e avaliar a validade do Eu como traçador de populações *in situ* e *ex situ* no bojo.

Estes objetivos visam uma compreensão maior da natureza do bojo Galáctico e seu rápido processo de enriquecimento químico na formação da Galáxia primordial. Como nos principais cenários de formação de galáxias os bojos tendem a se formar primeiro, a população estelar nessa região tende a ser mais pobre em metais, o que provavelmente representa uma das primeiras gerações de estrelas formadas na Via Láctea. Tradicionalmente, a busca por estrelas mais antigas da Galáxia tem se concentrado no halo, onde se

encontra a maioria de estrelas com baixa metalicidade. Porém, há indícios de que essas estrelas primordiais possam estar no bojo (Chiappini et al., 2011).

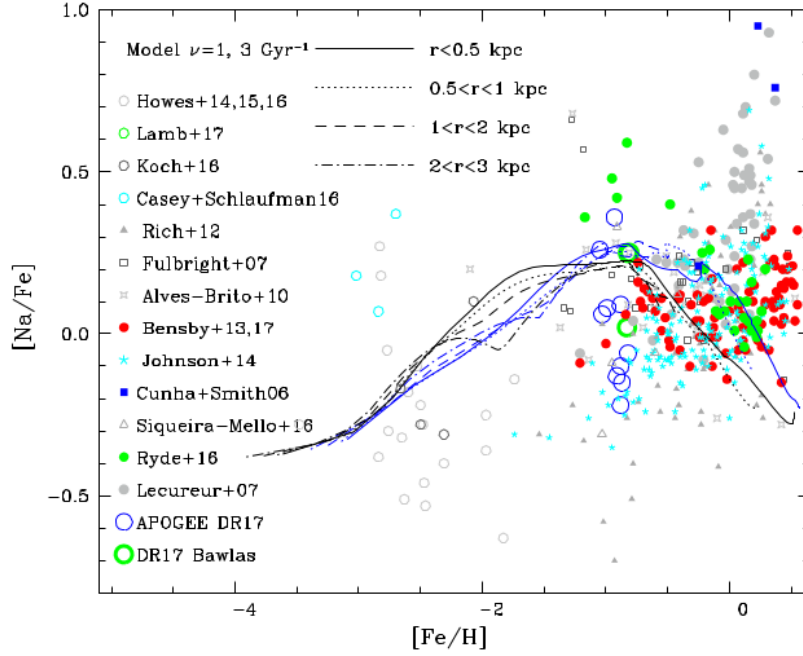


Figura 1.1: $[Na/Fe]$ vs. $[Fe/H]$ para estrelas do campo do bojo da literatura e 11 abundâncias APOGEE ASPCAP DR17, mais 4 abundâncias BAWLAS. Símbolos: estrelas cinzentas de 4 pontas: Alves-Brito et al. (2010); círculos vermelhos preenchidos: Bensby et al. (2017); quadrados azuis preenchidos: Cunha et al. (2017); triângulos cinzentos fortes preenchidos: Fulbright et al. (2007); pentágonos abertos cinzentos: Casey & Schlafman (2015); pentágonos abertos cinzentos: Howes et al. (2016); estrelas cinzentas: Johnson et al. (2014); pentágonos abertos cinzentos: Koch et al. (2016); pentágonos abertos verdes: Lamb et al. (2017); círculos cinzentos escuros preenchidos: Lecureur et al. (2007); círculos verdes preenchidos: Ryde et al. (2016); triângulos abertos cinzentos: Siqueira-Mello et al. (2016). São também apresentados dados do estudo APOGEE. Modelos de evolução quimiodinâmica com taxa de formação estelar de $\nu = 1 \text{ Gyr}^{-1}$ (preto) e 3 Gyr^{-1} (azul) ou escala de tempo de formação de 1 e 0.3 Gyr estão representados. As diferentes linhas de modelos correspondem aos resultados dos modelos calculados para raios $r < 0,5 \text{ kpc}$, $0,5 < r < 1 \text{ kpc}$, $1 < r < 2 \text{ kpc}$ e $2 < r < 3 \text{ kpc}$ do centro Galáctico.

Dados e Metodologia

Os dados deste trabalho são provenientes de dois espectrógrafos diferentes acoplados ao espectrógrafo multi-objeto *Fibre Large Array Multi Element Spectrograph* (FLAMES) do *Very Large Telescope* (VLT), o UVES e o GIRAFFE. As observações foram coletadas no Observatório Europeu do Sul, Paranal, Chile (programas ESO 71.B-0617 e 73.B-0074), tendo como PI Alvio Renzini ([Zoccali et al., 2008](#)). As principais diferenças entre eles estão na resolução espectral e na capacidade de alvos durante uma observação; UVES possui uma resolução espectral de $R \sim 47000$ e tem a capacidade de 8 objetos por observação, já o GIRAFFE possui uma resolução espectral de $R \sim 22000$ com capacidade de 130 objetos por observação.

Levando essas informações em conta, separamos as etapas deste trabalho em duas, sendo a primeira referente às 43 estrelas, observadas pelo UVES, e a segunda referente a um aumento na amostra para 438 estrelas, observadas pelo GIRAFFE, com aquelas 43 inclusas. Além disso, é importante salientar que essas amostras de estrelas são de diferentes regiões do bojo Galáctico, classificadas pelas nomenclaturas BW-b, BW-f, B6-b e B6-f, onde “b” significa *bright* e “f” *faint*, fazendo referência a estrelas brilhantes e fracas; já “BW” e “B6” significam as regiões da Janela de Baade (*Baade’s Window*) e quando latitude galáctica igual a -6° ($b = -6^\circ$), respectivamente.

Serão evidenciadas as técnicas e todo o processo utilizado para determinar um valor de abundância, desde a utilização inicial do TURBOSPECTRUM até a análise gráfica e comparativa dos espectros calculados e observados. Também foi utilizado o código PFANT para realizar o cálculo dos modelos das estrelas para que fossem incluídos nos *scripts* do TURBOSPECTRUM, esses modelos incluem parâmetros estelares de metalicidade, velocidade de turbulência, temperatura efetiva, e gravidade superficial.

2.1 TURBOSPECTRUM

Como ferramenta principal, o TURBOSPECTRUM gera espectros sintéticos, ou seja, o cálculo dos espectros dessas estrelas. Nele, os parâmetros estelares mais importantes — que podemos considerar como parâmetros de entrada principais — são a temperatura efetiva, gravidade superficial, metalicidade e a velocidade de turbulência. Outro ponto característico do código é a presença de todos os elementos da tabela periódica e suas abundâncias médias na fotosfera solar, essas abundâncias são alteradas conforme a metalicidade da estrela, por exemplo, se a estrela possui $[\text{Fe}/\text{H}] = +0.10$, todas as abundâncias médias serão acrescidas em 0.10. Portanto, o primeiro passo foi preparar esses *scripts* do TURBOSPECTRUM para todas as 438 estrelas, levando em conta suas metalicidades.

Ao compilar o código, em um intervalo de 5500 Å a 6800 Å, o espectro calculado é convoluído com um parâmetro que descreve a largura de uma curva, o *Full Width at Half Maximum* (FWHM), ou Largura à Meia Altura, correspondente à resolução do espectrógrafo, finalizado e pronto para ser analisado graficamente.

2.2 Análise Gráfica dos Espectros

Para fazer o registro dos espectros observados e calculados, foi utilizado o software Supermongo e linguagem Python de programação, onde neles foram feitos os ajustes necessários para que o espectro calculado se assemelhe ao observado, pois é assim que se obtém um valor de abundância química o mais correto possível.

2.2.1 Amostra UVES

Foram analisadas cinco linhas de Na diferentes do espectro, porém duas delas têm valores muito próximos uma da outra, portanto a aproximação delas é válida e assim é possível dividir as figuras em apenas quatro partições, sendo elas correspondentes às linhas: NaI 5682.633 Å, 5688.194 Å & 5688.205 Å, 6154.230 Å, e 6160.753 Å. Para o Eu, somente a linha EuII 6645.11 Å foi considerada para a determinação das abundâncias.

Aplicando os parâmetros gráficos em códigos python e limitando os eixos de comprimento de onda para analisar as linhas corretas, é possível gerar os gráficos facilmente. Além disso, esta análise gráfica oferece uma maturidade maior em aprender conceitos,

como por exemplo a convolução das linhas (largura das linhas), — que é calculada a partir de FWHM de convoluções Gaussianas — através da repetição manual.

Por fim, os valores de abundância são determinados no momento em que o espectro calculado chega o mais próximo possível, ou seja, o mais ajustado possível, ao espectro observado. Alguns exemplos de uma análise gráfica finalizada constam nas figuras do Capítulo 3, onde a linha pontilhada refere-se ao espectro observado, a azul ao calculado pelo TURBOSPECTRUM, e a vermelha também ao calculado pelo código, mas com um valor de abundância de Na diferente, visando essencialmente o ajuste com o observado.

2.2.2 Amostra GIRAFFE

Para o aumento da amostra, visando um estudo mais proveitoso e dinâmico, foram analisadas somente as duas últimas linhas de Na ($6154.230 \text{ \AA}$ e $6160.753 \text{ \AA}$). Esse aumento na amostra foi retirado de Zoccali et al. (2008) e foi realizado com o objetivo de analisar uma maior quantidade de estrelas e, assim, aumentar a precisão dos estudos e dos métodos aplicados, que foram mantidos exatamente os mesmos para as obtenções das abundâncias.

2.3 Metodologia

A metodologia aplicada em todas as estrelas deste trabalho pode ser bem evidenciada na Figura 2.1, onde consta todo o processo, passo a passo, da definição de um valor de abundância para a estrela B6f131, como exemplo.

O espectro observado, inicialmente, encontra-se desajustado em comparação ao espectro calculado por conta de deslocamentos prévios em comprimento de onda, então este intervalo é aumentado significativamente para que bandas características sejam facilmente identificadas, facilitando o ajuste e, assim, possibilitando a organização de todo o espectro. Após essa etapa, o intervalo de comprimento de onda é diminuído para que a banda das duas linhas (indicadas nas figuras por uma região cinza) específicas sejam claramente vistas e, com os contínuos devidamente ajustados, é possível notar a quantidade faltante de Na para essas linhas. Por fim, um novo valor de Na é aplicado no TURBOSPECTRUM, após a compilação do código, este novo espectro calculado é adicionado ao *script* python com uma cor diferente para que fique o mais evidente possível; assim, o objetivo é fazer com que este novo valor calculado fique o mais próximo possível do espectro observado.

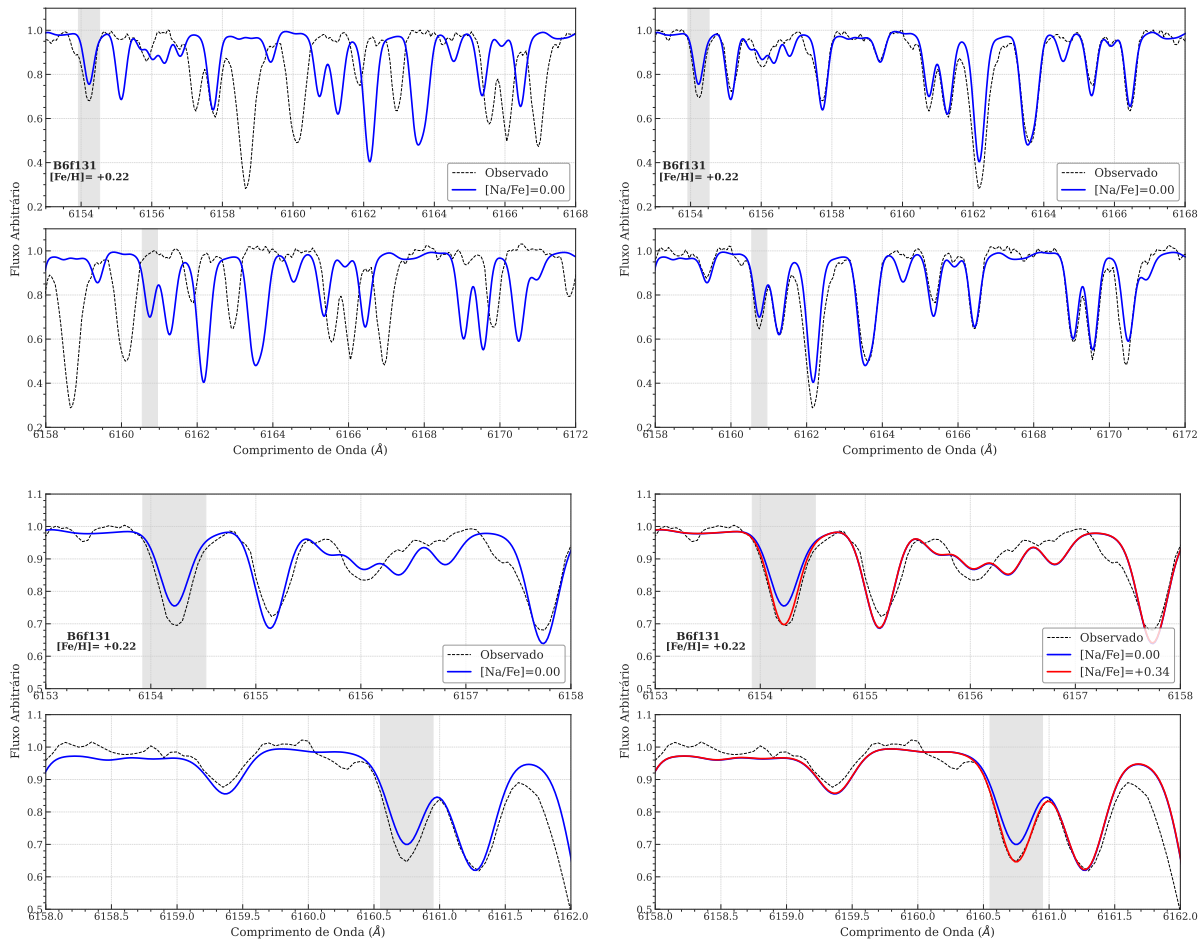


Figura 2.1: Metodologia completa para obtenção de um novo valor de abundância em Na, separada em quatro etapas e evidenciando as duas linhas de Na (painéis de cima: 6154.230 Å, painéis de baixo: 6160.753 Å) por conjunto de gráficos de Fluxo Arbitrário por Comprimento de Onda em Å.

Análise e Resultados

3.1 Sódio (Na)

3.1.1 43 estrelas

Primeiramente, serão evidenciadas as análises realizadas na etapa inicial do trabalho, referente as cinco linhas de Na para as 43 estrelas.

Na Figura 3.1 temos um exemplo de resultado consistente de abundância em Na para as cinco linhas.

Todos os valores de abundância em Na resultantes dessa etapa do trabalho constam na Tabela 3.1, que também apresenta uma comparação com [Lecureur et al. \(2007\)](#). Percebe-se que a grande maioria das abundâncias calculadas, embora que ainda relativamente altas, são menores do que as do estudo anterior, evidenciando a boa performance e utilização do código.

3.1.2 438 estrelas

Para a amostra maior o estudo foi mais sintetizado, já que somente duas linhas de Na foram analisadas. Entretanto, ainda assim algumas dificuldades foram enfrentadas durante esta segunda etapa da pesquisa. A principal delas foi o comportamento do Na em estrelas ricas em metais. Foram identificados valores anômalos de abundância de Na em parte das estrelas, com algumas estimativas apresentando abundâncias superiores a $[\text{Na}/\text{Fe}] = +1.00$, valores considerados atípicos; que ocorreram para estrelas com metalicidade maior que zero ($[\text{Fe}/\text{H}] > 0$). Tais discrepâncias levantaram a hipótese de que os parâmetros atmosféricos inicialmente utilizados, em especial as temperaturas efetivas, poderiam estar incorretos ou imprecisos, afetando diretamente a determinação das abundâncias.

Tabela 3.1 - Abundâncias de [Fe/H], [C/Fe], [N/Fe] e [O/Fe] para as estrelas UVES, apresentando a comparação dos valores de [Na/Fe] deste trabalho com os de [Lecureur et al. \(2007\)](#).

Star	[Fe/H]	[C/Fe]	[N/Fe]	[O/Fe]	[Na/Fe]	
					Lecureur	present
B6-b1	0.07	-0.15	+0.50	0.00	+0.57	-0.49
B6-b2	-0.01	-0.05	+0.35	0.00	—	+0.70
B6-b3	0.10	-0.25	+0.50	-0.12	+0.45	+0.34
B6-b4	-0.41	-0.15	+0.15	+0.30	+0.15	+0.00
B6-b5	-0.37	-0.10	+0.30	+0.15	+0.32	+0.20
B6-b6	0.11	-0.15	+0.50	-0.10	+0.68	+0.60
B6-b8	0.03	0.00	+0.10	-0.03	+0.46	+0.25
B6-f1	-0.01	+0.05	+0.20	+0.03	+0.20	+0.00
B6-f2	-0.51	+0.0	+0.20	+0.20	+0.22	+0.17
B6-f3	-0.29	-0.05	+0.30	+0.15	+0.31	+0.20
B6-f5	-0.37	+0.05	+0.00	+0.10	+0.23	+0.10
B6-f7	-0.42	0.00	+0.30	—	+0.22	+0.20
B6-f8	0.04	-0.10	+0.7	-0.30	+0.50	+0.44
BW-b2	0.22	-0.10	+0.20	-0.10	+0.01	+0.00
BW-b4	0.07	-0.10	0.00	-0.10	—	+0.47
BW-b5	0.17	0.00	+0.05	-0.10	+0.37	+0.27
BW-b6	-0.25	0.00	+0.65	+0.15	+0.22	+0.20
BW-b7	0.10	-0.25	+0.10	-0.20	—	+0.35
BW-f1	0.32	-0.20	+0.45	-0.18	+0.93	+0.62
BW-f4	-1.21	+0.30	+0.30	+0.30	-0.06	+0.20
BW-f5	-0.59	+0.10	+0.40	+0.25	+0.23	+0.14
BW-f6	-0.21	+0.08	+0.40	+0.20	-0.08	-0.13
BW-f7	0.11	-0.20	+0.70	-0.25	+0.36	+0.21
BW-f8	-1.27	+0.00	+0.20	+0.35	—	-0.05
BL-1	-0.16	-0.07	+0.40	+0.30	+0.17	+0.10
BL-3	-0.03	-0.15	0.00	+0.05	+0.03	+0.00
BL-4	0.13	-0.10	+0.20	-0.20	+0.70	+0.58
BL-5	0.16	+0.00	+0.30	-0.05	+0.51	+0.09
BL-7	-0.47	+0.00	+0.30	+0.30	+0.06	+0.05
B3-b1	-0.78	0.00	+0.60	+0.40	+0.04	+0.00
B3-b2	0.18	-0.10	+0.20	-0.10	+0.27	+0.00
B3-b3	0.18	-0.10	0.00	-0.20	+0.46	+0.26
B3-b4	0.17	-0.15	+0.40	-0.05	+0.49	+0.42
B3-b5	0.11	-0.20	0.00	-0.30	+0.56	+0.51
B3-b7	0.20	-0.15	+0.25	-0.20	+0.34	+0.25
B3-b8	-0.62	-0.15	+0.40	+0.30	-0.02	+0.00
B3-f1	0.04	0.00	+0.40	+0.10	+0.45	+0.00
B3-f2	-0.25	0.00	0.00	0.00	+0.53	+0.32
B3-f3	0.06	+0.00	+0.00	-0.10	+0.34	+0.31
B3-f4	0.09	0.00	+0.10	+0.10	—	+0.00
B3-f5	0.16	-0.05	+0.50	-0.05	+0.06	+0.17
B3-f7	0.16	+0.00	+0.20	-0.25	+0.47	+0.45
B3-f8	0.20	-0.20	+0.30	-0.30	+0.80	+0.65

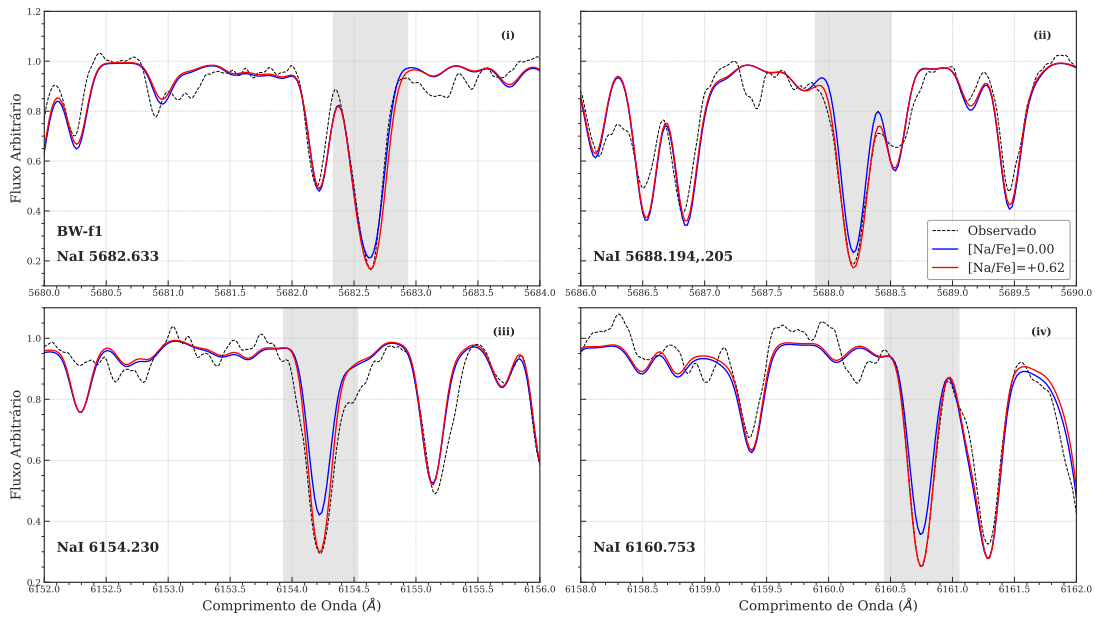


Figura 3.1: Espectro da estrela BW-f1 demonstrando a consistência da análise, onde um único valor de abundância de Na reproduz simultaneamente os perfis das cinco linhas espectrais observadas.

3.1.3 Revisão dos Parâmetros Atmosféricos

Tendo em vista os resultados superabundantes obtidos citados anteriormente, foi necessário iniciar uma investigação com o objetivo de revisar os parâmetros atmosféricos das estrelas das amostras; estes parâmetros (temperatura efetiva, velocidade de microturbulência, gravidade superficial) são os responsáveis pelo comportamento das linhas do espectro que, se incorretos, proporcionam uma estimativa incoerente das abundâncias.

Inicialmente foi adotada uma abordagem com o código DAOSPEC (Stetson & Pancino, 2008) que, dado o espectro da estrela, ele identifica automaticamente linhas de absorção, ajusta o contínuo e mede as larguras equivalentes. Com as larguras equivalentes reunidas, é feita uma filtragem das linhas e deixando apenas as de FeI e FeII, que são as necessárias para fazer as estimativas dos parâmetros atmosféricos, e dessas linhas são calculadas suas abundâncias utilizando um código do grupo ABON2 (Spite & Spite, 1978). Um exemplo de resultado para este conjunto de análise é observado na Figura 3.2, onde não foi feita nenhuma alteração nos parâmetros a fim de verificar se eles estavam corretos a princípio.

Nesta análise, é necessário que três comportamentos sejam cumpridos para que os três parâmetros atmosféricos em questão estejam o mais corretos possível. Estes comportamentos estão presentes na análise gráfica, ou seja, deve-se observar os *slopes* dos gráficos de $[\text{FeI}/\text{H}]$, que vão determinar a temperatura efetiva (T_{eff}) e a velocidade de microtur-

bulência (v_t), e também a diferença de $\langle \text{FeII} \rangle$ e $\langle \text{FeI} \rangle$, que vai determinar a gravidade superficial ($\log g$). O objetivo é anular quaisquer tendências residuais, isto é, garantir que os *slopes* (coeficientes angulares) sejam nulos. Visualmente, isso resulta em distribuições horizontais, indicando independência entre a abundância e o parâmetro do eixo X para a verificação de T_{eff} e v_t . Além disso, busca-se que a diferença de abundância média $\langle \text{FeII} \rangle - \langle \text{FeI} \rangle \approx 0$ para determinar o $\log g$.

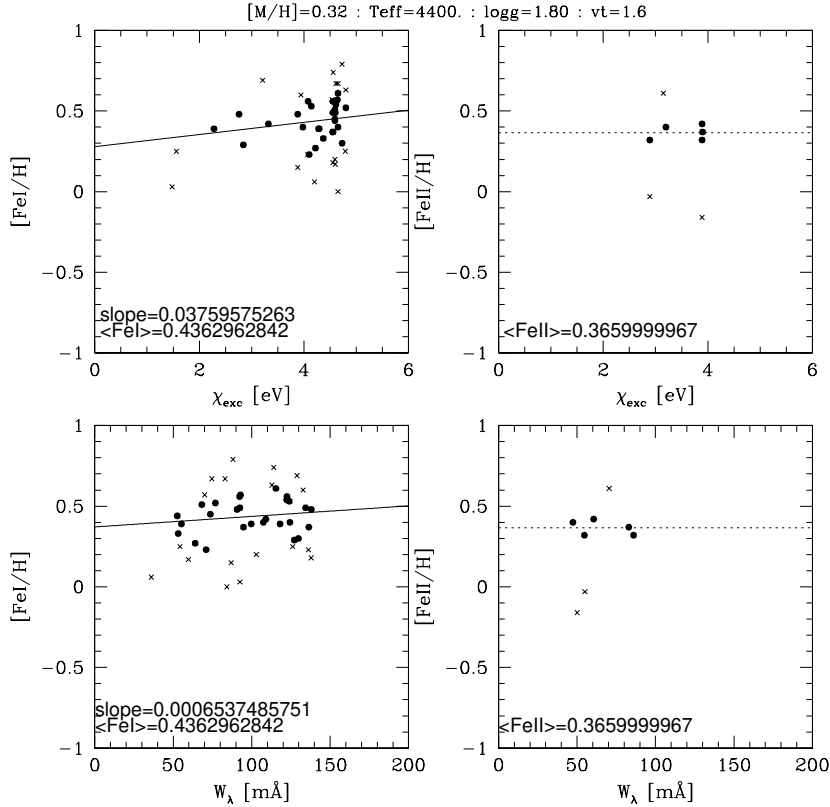


Figura 3.2: Verificação do equilíbrio espectroscópico para a estrela BW-f1 (UVES), demonstrando a validade dos parâmetros atmosféricos ($T_{eff} = 4400$ K, $\log g = 1.80$, $v_t = 1.6$ km/s, $[M/H] = 0.32$). Os pontos representam as abundâncias individuais calculadas para cada linha espectral de Ferro medida. Esquerda: Abundâncias de $[\text{FeI}/\text{H}]$ em função do potencial de excitação (χ_{exc}) (acima) e da largura equivalente (W_λ) (abaixo). As inclinações próximas de zero validam T_{eff} e v_t , respectivamente. Direita: Abundâncias de $[\text{FeII}/\text{H}]$ em função de χ_{exc} (acima) e W_λ (abaixo). O equilíbrio de ionização, verificado pela consistência entre $\langle \text{FeI} \rangle$ e $\langle \text{FeII} \rangle$, valida o $\log g$.

Analisando a Figura 3.2 é possível verificar que, embora não tenha sido feita nenhuma alteração nos parâmetros atmosféricos previamente utilizados por [Lecureur et al. \(2007\)](#), eles aparentam cumprir os requisitos e estão aproximadamente condizentes, o que nos confirma que os parâmetros não estão mal estimados. Esta verificação foi feita para a

maioria das estrelas ricas em metais da amostra UVES.

Adicionalmente, a Figura 3.3 apresenta outro método de verificação dos parâmetros atmosféricos por meio da comparação do espectro observado com o espectro calculado de maneira visual, isto é, verificar se não há nenhuma diferença facilmente evidenciável nas larguras das linhas. Neste exemplo, é notável que os parâmetros estão perfeitamente adotados, pois as linhas estão coincidentes.

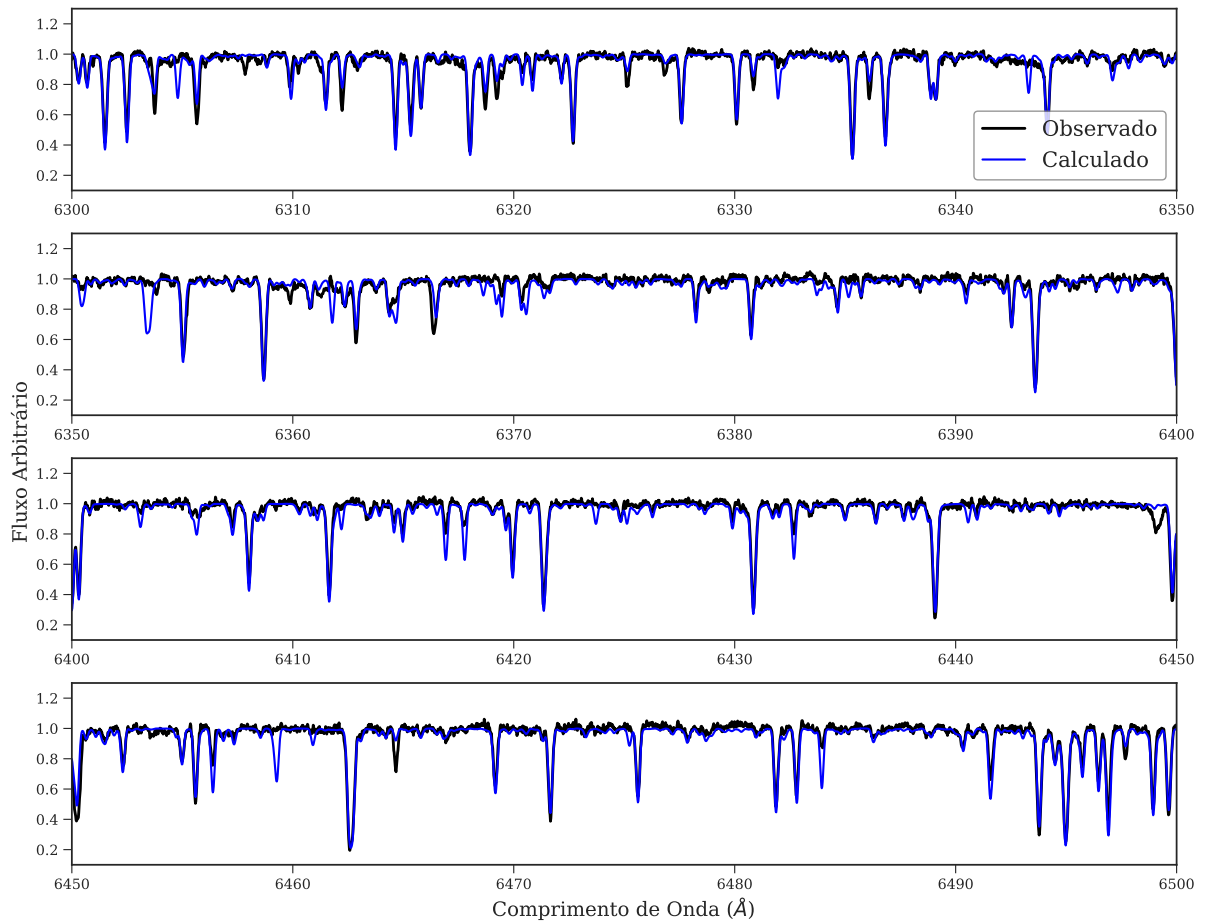


Figura 3.3: Comparação do espectro observado (preto) com o espectro calculado (azul) para a estrela B6-f3 da amostra UVES, na região de 6300 Å a 6500 Å. A boa concordância visual entre os espectros valida os parâmetros atmosféricos adotados na análise.

Adicionalmente, foi realizada uma análise semelhante para as estrelas ricas em metais de mesmo contexto ($[\text{Na}/\text{Fe}]$ superabundante) da amostra GIRAFFE. Neste tópico é importante salientar que os espectros das estrelas desta amostra estão divididos em 3 *setups* de alta resolução do espectrógrafo GIRAFFE, que são: HR13, HR14 e HR15 (HR: *High*

Resolution).

Portanto, na Figura 3.4 estão evidentes 4 comparações de espectros observado e calculado de 4 estrelas ricas em metais diferentes de uma parte do *setup* HR13, cujo intervalo de comprimento de onda é $6120.0 \text{ \AA} - 6405.0 \text{ \AA}$. Assim como na amostra UVES, é possível identificar que os parâmetros atmosféricos da amostra GIRAFFE aparentam corretos por não haver grandes discrepâncias nas linhas, embora apresentem ruídos mais evidentes em comparação ao UVES.

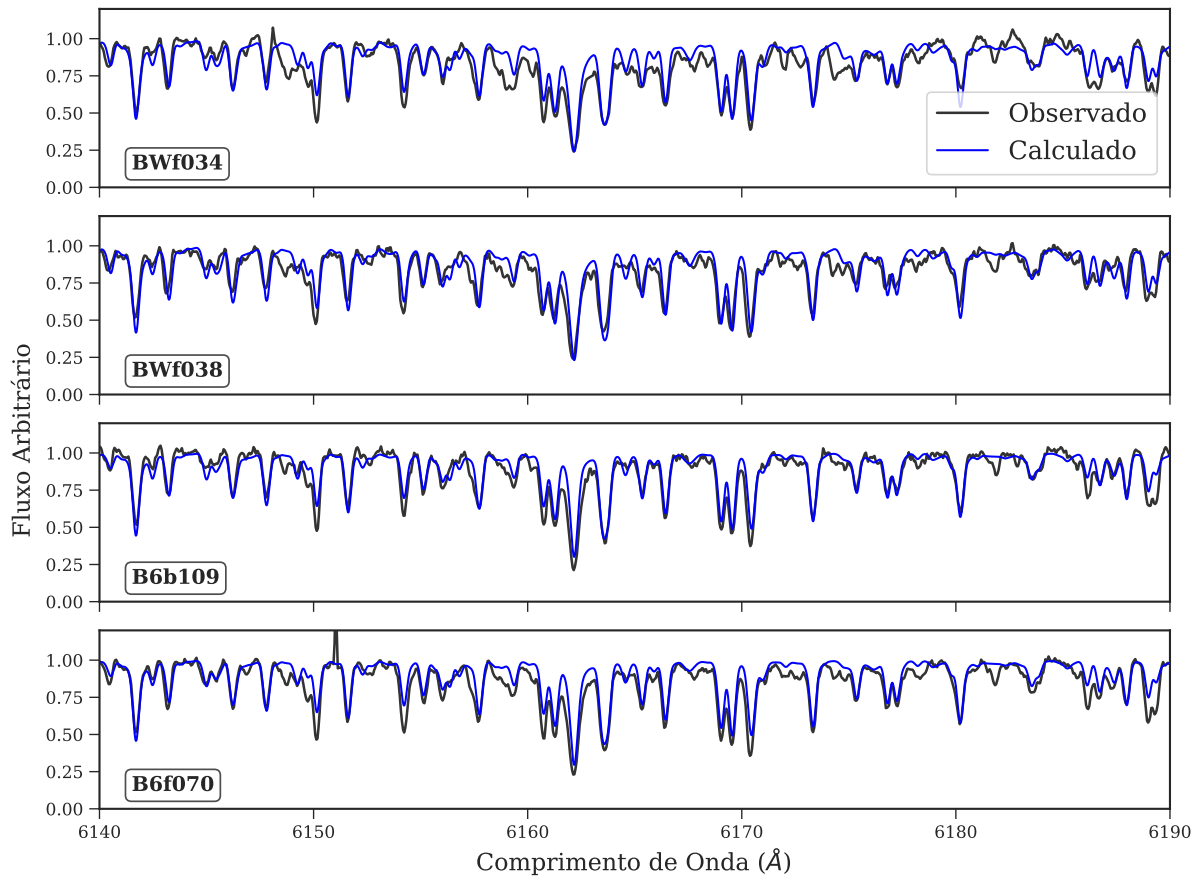


Figura 3.4: Comparação do espectro observado (preto) e calculado (azul) para o *setup* HR13 de 4 estrelas ricas em metais da amostra GIRAFFE.

3.1.4 Resultados

Os resultados finais deste trabalho serão apresentados a partir da análise das amostras UVES e GIRAFFE que juntas somam 481 estrelas. A Tabela final com as estrelas e seus respectivos valores de Na calculados encontra-se no Apêndice A.

Como apontado anteriormente, foram obtidas superabundâncias em Na para uma parte de estrelas majoritariamente ricas em metais. Embora os parâmetros atmosféricos tenham sido investigados de maneira geral para uma parte da amostra destas estrelas com valores problemáticos e, ao que tudo indica, estão aparentemente corretos, os resultados evidenciados nesta monografia constam apenas as estrelas com valores consistentes de Na, desconsiderando, portanto, esta superabundância. Por se tratar de muitos dados para a revisão de todos os parâmetros para todas as estrelas, e julgando que esta análise deve ser feita minuciosamente, esta investigação completa abrange as perspectivas futuras deste trabalho.

Compõem a amostra final validada um total de 296 estrelas, selecionadas por apresentarem abundâncias de Na concordantes para ambas as linhas analisadas, e são estes os resultados considerados na análise a seguir. É possível ver alguns poucos exemplos destas estrelas no Apêndice B, onde constam alguns espectros analisados; é importante salientar que eles estão representados desta forma apenas como uma maneira favorável à visualização.

Na Figura 3.5 está evidenciado o resultado para a estrela BWf046, na qual a determinação de Na se mostrou inconsistente, ou seja, apresentou divergência entre as duas linhas analisadas. É possível notar a grande discrepância entre as profundidades da primeira linha em relação à segunda, que não exige um valor de Na tão alto.

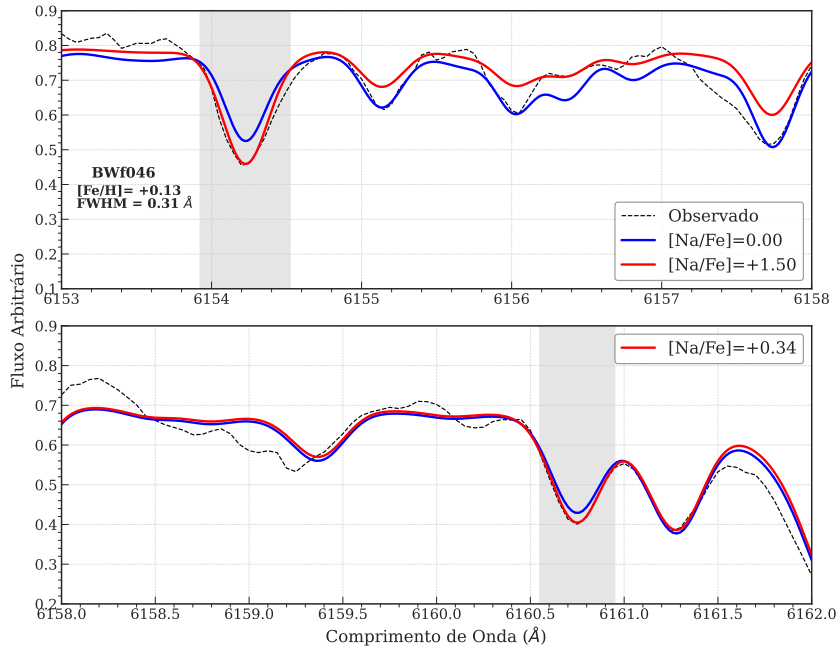


Figura 3.5: Estrela BWf046, que apresentou inconsistência entre as duas linhas de Na. Percebe-se que a primeira linha exigiria um valor de abundância significativamente maior que a segunda. Portanto, estrelas com esta discrepância foram desconsideradas.

Agora, um exemplo representativo da amostra final validada é mostrado na Figura 3.6, referente à estrela B6b072, onde um único valor de Na adotado reproduziu de maneira satisfatória as duas linhas. Estrelas com este comportamento compuseram os resultados finais.

Reunindo os valores de $[Na/Fe]$ obtidos para as estrelas, conseguimos enfim evidenciar o resultado final na Figura 3.7.

Ainda assim, fica evidente os altos valores de $[Na/Fe]$ na região de altas metalicidades, cujo comportamento não era esperado pelo modelo de evolução química. Nesse contexto, nasce outro objetivo futuro desta pesquisa, onde, além de estudar a química de estrelas do bojo, também será incluso o estudo da cinemática delas, pois assim será possível identificar com maior clareza se são realmente componentes do bojo, ou se foram acretadas pela Via Láctea. Estudos desta temática estão adquirindo força nesta área da astronomia e se demonstrando cada vez mais necessários, pois com eles a interpretação da componente central da Galáxia entra em debate.

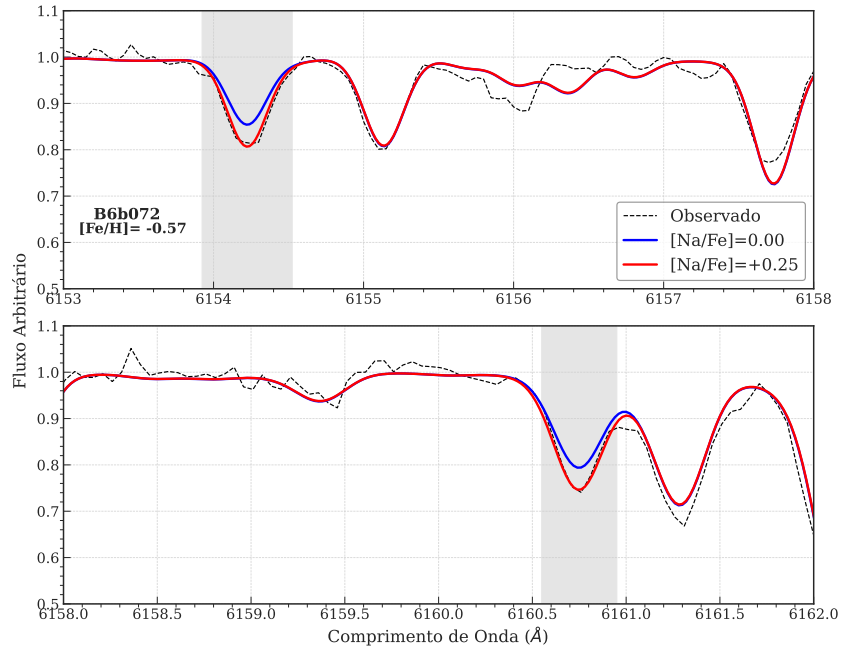


Figura 3.6: Estrela B6b072, de baixa metalicidade, cujo ajuste espectral se mostrou consistente para as duas linhas de Na. Nota-se que ambas as linhas são reproduzidas adequadamente por um único valor de abundância.

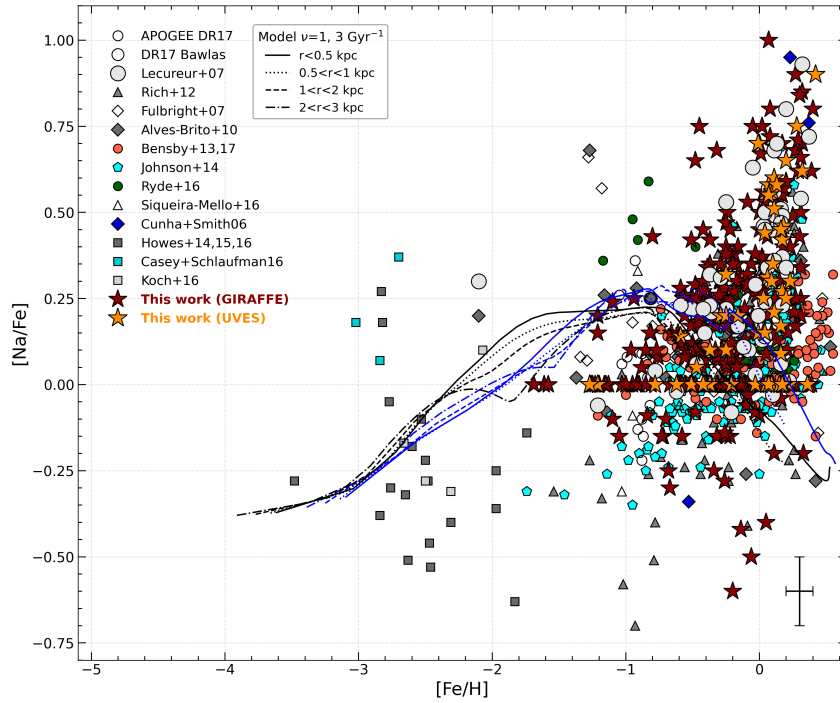


Figura 3.7: Inclusão dos resultados na Figura 1.1. Reunião dos dados das duas amostras GIRAFFE e UVES representados por estrelas vermelhas e laranjas, respectivamente.

3.2 Európio (Eu)

A análise para o estudo do Eu se deu de forma idêntica a do Na, isto é, foi utilizado o código TURBOSPECTRUM para gerar espectros sintéticos das 43 estrelas UVES e, com eles, comparar com o espectro observado delas para assim calcular $[\text{Eu}/\text{Fe}]$. A Figura 3.8 apresenta resultados da análise para obtenção de abundâncias de Eu para 4 estrelas diferentes.

Os valores de abundância de $[\text{Eu}/\text{Fe}]$ obtidos neste trabalho para a amostra UVES estão apresentados na Tabela 3.2. Os resultados anteriores de [Van der Swaelmen et al. \(2016\)](#) são incluídos para referência.

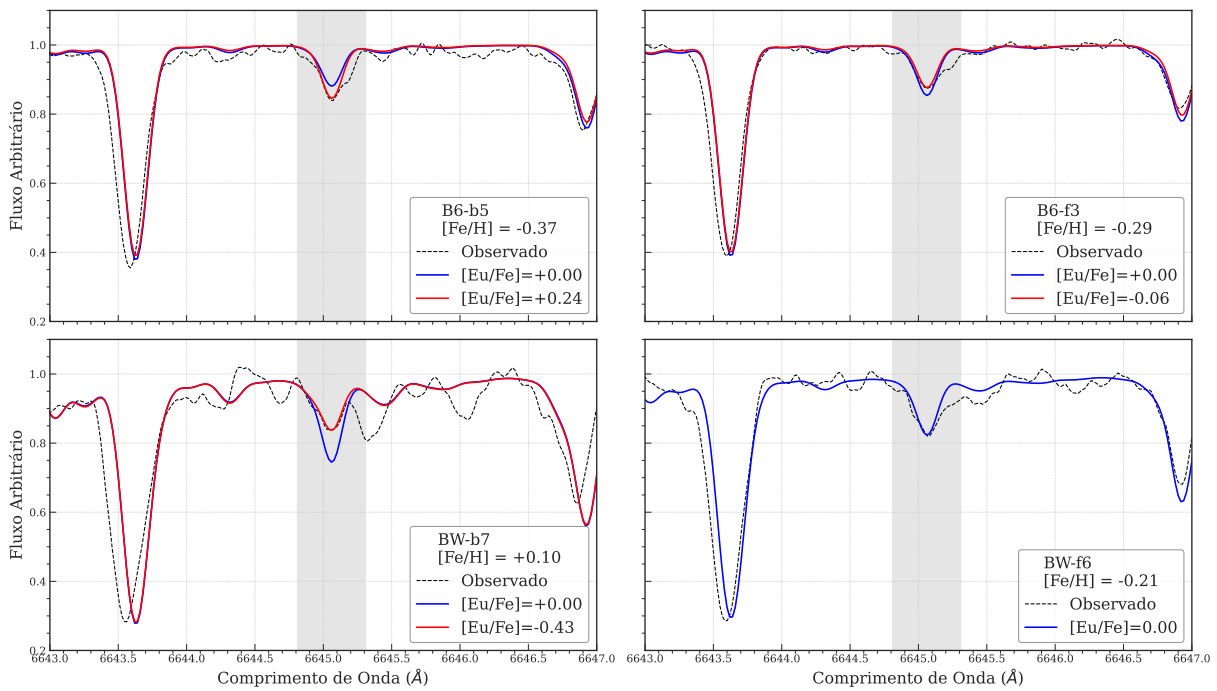


Figura 3.8: Determinação de $[\text{Eu}/\text{Fe}]$ para quatro estrelas diferentes.

Tabela 3.2 - Valores de [Eu/Fe] deste trabalho (present) em comparação com [Van der Swaelmen et al. \(2016\)](#).

Star	[Fe/H]	[Eu/Fe]	
		Van der Swaelmen	present
B6-b1	0.07	-0.12	-0.20
B6-b2	-0.01	-0.10	-0.23
B6-b3	0.10	-0.18	-0.54
B6-b4	-0.41	+0.40	+0.30
B6-b5	-0.37	+0.28	+0.24
B6-b6	0.11	-0.16	-0.35
B6-b8	0.03	+0.02	-0.07
B6-f1	-0.01	+0.08	-0.12
B6-f2	-0.51	+0.1	-0.28
B6-f3	-0.29	+0.08	-0.06
B6-f5	-0.37	+0.24	+0.00
B6-f7	-0.42	+0.44	+0.33
B6-f8	0.04	-0.20	-0.35
BW-b2	0.22	-0.28	-0.37
BW-b4	0.07	-0.36	-0.38
BW-b5	0.17	-0.20	-0.25
BW-b6	-0.25	+0.42	+0.25
BW-b7	0.10	-0.48	-0.43
BW-f1	+0.32	-0.34	-0.21
BW-f4	-1.21	—	+0.24
BW-f5	-0.59	+0.28	-0.09
BW-f6	-0.21	+0.26	+0.00
BW-f7	0.11	+0.02	-0.11
BW-f8	-1.27	+0.48	+0.00
BL-1	-0.16	+0.04	-0.06

Continua na próxima página...

Tabela 3.2 - Continuação

Star	[Fe/H]	[Eu/Fe]	[Eu/Fe]
		Van der Swaelmen	present
BL-3	-0.03	+0.20	+0.00
BL-4	0.13	-0.14	-0.31
BL-5	0.16	-0.06	-0.22
BL-7	-0.47	+0.48	+0.40
B3-b1	-0.78	—	+0.42
B3-b2	0.18	+0.24	-0.01
B3-b3	0.18	-0.16	-0.23
B3-b4	0.17	+0.20	+0.11
B3-b5	0.11	-0.18	-0.30
B3-b7	0.20	-0.26	-0.37
B3-b8	-0.62	+0.72	+0.61
B3-f1	0.04	+0.02	-0.18
B3-f2	-0.25	+0.24	0.00
B3-f3	0.06	-0.04	-0.13
B3-f4	0.09	—	+0.25
B3-f5	0.16	+0.06	-0.15
B3-f7	0.16	-0.14	-0.24
B3-f8	0.20	-0.38	-0.44

3.2.1 Resultados

O resultado principal da análise de Európio está sumarizado na Figura 3.9. Esta figura apresenta as abundâncias de [Eu/Fe] em função da metalicidade ([Fe/H]) para as estrelas UVES analisadas neste trabalho (estrelas vazadas em vermelho). Estes resultados são diretamente comparados com os valores originais de [Van der Swaelmen et al. \(2016\)](#) (re-

presentados por triângulos preenchidos em ciano) e contextualizados por uma compilação de dados da literatura para o bojo Galáctico.

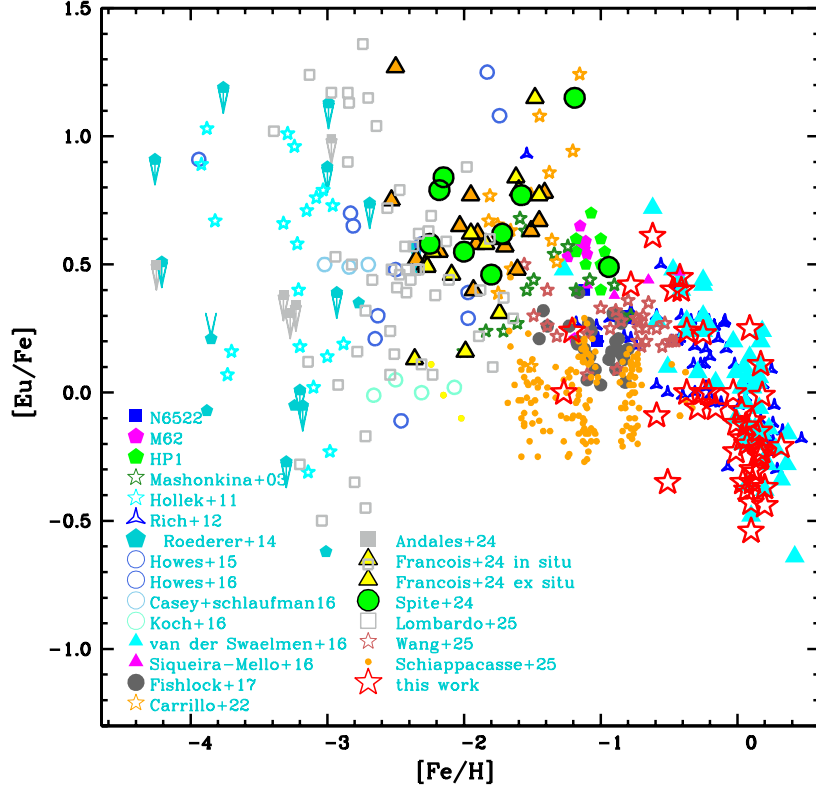


Figura 3.9: Reunião de dados de $[Eu/Fe]$ de toda literatura referente ao bojo. Dados deste trabalho incluídos como estrelas vazadas em vermelho.

A diferença entre a análise deste trabalho com a de [Van der Swaelmen et al. \(2016\)](#) é imediatamente aparente. Conforme antecipado na Tabela 3.2, os dados de [Van der Swaelmen et al. \(2016\)](#) apresentavam uma dispersão muito grande em altas metalicidades ($[Fe/H] > -0.5$ dex), com valores de $[Eu/Fe]$ variando de aproximadamente -0.5 dex até $+0.7$ dex. Em contraste, aqui os resultados são significativamente mais coesos e eliminam essa dispersão anômala, agrupando-se de forma consistente com a tendência principal definida pela literatura.

A Figura 3.9 revela dois regimes distintos de enriquecimento químico, ambos consistentes com o cenário de formação do bojo. Em baixas metalicidades ($[Fe/H] \lesssim -1.0$), observa-se uma dispersão intrínseca considerável nas abundâncias de $[Eu/Fe]$, e esta é uma assinatura clássica de elementos do processo-r, como o Európio. A sua nucleossíntese está ligada a eventos raros e explosivos e, no início da formação da Galáxia, o meio interestelar

primordial não era quimicamente homogêneo. Algumas regiões recebiam muito Eu desses eventos, enquanto outras não, gerando a dispersão vista nos dados.

Por outro lado, em metalicidades mais altas ($[\text{Fe}/\text{H}] \gtrsim -1.0$), onde se encontra a grande maioria das estrelas da amostra UVES, a tendência de $[\text{Eu}/\text{Fe}]$ torna-se muito mais concisa. Este comportamento é esperado para uma população que se formou rapidamente, como o bojo Galáctico. O enriquecimento por processo-r dominou o meio, e a formação estelar foi tão rápida que as supernovas do tipo Ia (que produzem a maior parte do Fe e “diluiriam” a razão $[\text{Eu}/\text{Fe}]$) só começaram a contribuir significativamente mais tarde.

Portanto, a grande dispersão nos dados de [Van der Swaelmen et al. \(2016\)](#) nesta região de alta metalicidade era teoricamente problemática, e os resultados deste trabalho resolvem esta inconsistência. O fato das estrelas UVES se localizarem de maneira mais concisa valida a metodologia aplicada e confirma que a população do bojo estudada é, de fato, quimicamente homogênea em Eu, como esperado para estrelas de alta metalicidade formadas in situ em um processo rápido.

Conclusões

Foram investigadas as abundâncias químicas de Sódio (Na) e Európio (Eu) em estrelas do bojo Galáctico, a partir de espectros de alta resolução UVES para 43 estrelas (Na e Eu) e GIRAFFE para 438 estrelas (Na). O objetivo principal foi reavaliar, com o uso do código de síntese espectral TURBOSPECTRUM, inconsistências de abundâncias reportadas na literatura para ambos os elementos.

Para o Na, a reanálise da amostra UVES (Tabela 3.1) validou a metodologia, produzindo valores de $[\text{Na}/\text{Fe}]$ mais confiáveis e sistematicamente menores que os de [Lecureur et al. \(2007\)](#). Por outro lado, a análise da amostra total (Figura 3.7) confirmou a existência de superabundâncias de $[\text{Na}/\text{Fe}]$ em estrelas ricas em metais ($[\text{Fe}/\text{H}] > 0$). Uma investigação rigorosa dos parâmetros atmosféricos, utilizando tanto o equilíbrio espectroscópico de Fe (Figura 3.2) quanto a síntese espectral visual (Figuras 3.3 e 3.4), indicou que os parâmetros estão corretos. Esta tensão entre parâmetros validados e abundâncias de Na fisicamente inesperadas permanece como um problema central a ser investigado futuramente nesta pesquisa.

Em contrapartida, a análise do Eu para a amostra UVES alcançou um resultado conclusivo. Conforme apresentado na Tabela 3.2 e na Figura 3.9, este trabalho resolveu a grande e teoricamente problemática dispersão de $[\text{Eu}/\text{Fe}]$ em altas metalicidades relatada por [Van der Swaelmen et al. \(2016\)](#). Esta assinatura confirma que a população do bojo estudada é quimicamente homogênea em Eu, validando o cenário de formação *in situ* rápida, dominada pelo processo-r.

Portanto, este trabalho cumpriu o objetivo de reavaliar as abundâncias de Na e Eu, resolvendo a inconsistência para o Eu, mas expondo um problema mais profundo para o Na. As perspectivas futuras exigem uma investigação mais detalhada sobre a origem

das superabundâncias de Na, possivelmente incorporando a análise cinemática para filtrar membros não pertencentes ao bojo. A execução deste trabalho permitiu, ainda, desenvolver uma valiosa expertise em técnicas avançadas de espectroscopia.

Referências Bibliográficas

- Alves-Brito A., Meléndez J., Asplund M., Ramírez I., Yong D., 2010, [A&A](#), **513**, A35
- Barbuy B., 1988, in Cayrel de Strobel G., Spite M., eds, IAU Symposium Vol. 132, The Impact of Very High S/N Spectroscopy on Stellar Physics. p. 515
- Barbuy B., et al., 2023, [MNRAS](#), **526**, 2365
- Bastian N., Lardo C., 2018, [ARA&A](#), **56**, 83
- Bensby T., et al., 2017, [A&A](#), **605**, A89
- Carretta E., Bragaglia A., Gratton R., D’Orazi V., Lucatello S., 2009, [A&A](#), **508**, 695
- Casey A. R., Schlafman K. C., 2015, [ApJ](#), **809**, 110
- Chiappini C., Frischknecht U., Meynet G., Hirschi R., Barbuy B., Pignatari M., Decressin T., Maeder A., 2011, [Nature](#), **472**, 454
- Cunha K., et al., 2017, [ApJ](#), **844**, 145
- Fishlock C. K., Yong D., Karakas A. I., Alves-Brito A., Meléndez J., Nissen P. E., Kobayashi C., Casey A. R., 2017, [MNRAS](#), **466**, 4672
- Friça A. C. S., Barbuy B., 2017, [A&A](#), **598**, A121
- Fulbright J. P., McWilliam A., Rich R. M., 2007, [ApJ](#), **661**, 1152
- Gratton R. G., Carretta E., Bragaglia A., 2012, [A&A Rev.](#), **20**, 50
- Horta D., Ness M. K., Rybizki J., Schiavon R. P., Buder S., 2022, [MNRAS](#), **513**, 5477

- Howes L. M., et al., 2016, [MNRAS](#), **460**, 884
- Johnson C. I., Rich R. M., Kobayashi C., Kunder A., Koch A., 2014, [AJ](#), **148**, 67
- Koch A., McWilliam A., Preston G. W., Thompson I. B., 2016, [A&A](#), **587**, A124
- Lamb M., et al., 2017, [MNRAS](#), **465**, 3536
- Lecureur A., Hill V., Zoccali M., Barbuy B., Gómez A., Minniti D., Ortolani S., Renzini A., 2007, [A&A](#), **465**, 799
- Lombardo L., et al., 2025, [A&A](#), **693**, A293
- Lucertini F., et al., 2025, [A&A](#), **695**, A36
- Mardini M. K., Frebel A., Betre L., Jacobson H., Norris J. E., Christlieb N., 2024, [MNRAS](#), **528**, 2912
- McWilliam A., 2016, [PASA](#), **33**, e040
- Milone A. P., et al., 2017, [MNRAS](#), **464**, 3636
- Piotto G., et al., 2015, [AJ](#), **149**, 91
- Plez B., 2012, Turbospectrum: Code for spectral synthesis, Astrophysics Source Code Library, record ascl:1205.004
- Renzini A., et al., 2015, [MNRAS](#), **454**, 4197
- Ryde N., Schultheis M., Grieco V., Matteucci F., Rich R. M., Uttenthaler S., 2016, [AJ](#), **151**, 1
- Schiappacasse-Ulloa J., et al., 2025, [A&A](#), **699**, A41
- Siqueira-Mello C., et al., 2016, [A&A](#), **593**, A79
- Spite M., Spite F., 1978, [A&A](#), **67**, 23
- Stetson P. B., Pancino E., 2008, [PASP](#), **120**, 1332
- Van der Swaelmen M., Barbuy B., Hill V., Zoccali M., Minniti D., Ortolani S., Gómez A., 2016, [A&A](#), **586**, A1

Zoccali M., Hill V., Lecureur A., Barbuy B., Renzini A., Minniti D., Gómez A., Ortolani S., 2008, [A&A](#), 486, 177

Apêndice

Tabela Final

Tabela A.1 - Nomes OGLE e GIRAFFE, parâmetros estelares, e abundâncias de sódio. Para estrelas com espectros tanto de GIRAFFE como de UVES, os parâmetros tanto de UVES quanto de GIRAFFE foram analisados. Essas estrelas estão marcadas com asterisco quando correspondem a resultados de UVES.

OGLE	GIRAFFE	T_{eff}	$\log g$	[Fe/H]	v_t	[Na/Fe]
Baade's window bright: BW-b						
423323	bwb003	4200	1.59	-0.48	1.5	+0.00
412779	bwb004	4850	1.93	-0.37	1.5	+0.00
423359	bwb006	4650	1.92	-1.23	1.4	+0.00
433669*	bwb007*	4400	1.80	0.32	1.6	+0.70
433669	bwb007	4300	1.67	0.32	1.5	+0.85
412752	bwb008	4900	1.98	-0.80	1.5	+0.43
402327	bwb011	4800	2.00	0.15	1.2	+0.30
575317	bwb015	4550	1.78	0.22	1.4	+0.00
412759	bwb017	4900	1.98	-0.39	1.4	+0.00
575356	bwb021	4050	1.56	0.39	1.4	+0.00
564797	bwb024	4200	1.69	0.24	1.5	+0.00
564792	bwb025	5000	2.09	-0.68	1.4	-0.25
412931	bwb026	4450	1.87	-0.15	1.3	+0.30
564988	bwb027	4750	2.04	-0.24	1.4	+0.07
412792	bwb030	4450	1.83	-0.26	1.4	+0.25
564807	bwb035	4850	2.00	-0.67	1.5	+0.00
92537	bwb038	4500	1.81	-0.56	1.3	+0.26
575303	bwb039	4850	2.02	-0.27	1.5	0.00

Tabela A.1 - Continuação.

OGLE n°	GIRAFFE n°	T _{eff}	log g	[Fe/H]	v _t	[Na/Fe]
240260*	bwb040*	4800	1.90	-0.59	1.3	+0.12
240260	bwb040	5150	2.07	-0.59	1.4	+0.28
82762	bwb041	4450	1.81	0.31	1.4	+0.34
92565	bwb042	4400	1.84	-0.05	1.5	+0.20
240210	bwb043	4800	2.00	-0.04	1.2	+0.27
554722	bwb044	4600	1.67	-0.44	1.6	+0.18
82725	bwb045	4750	1.98	-0.70	1.3	-0.10
231262	bwb046	4930	2.04	-0.10	1.4	-0.06
231099	bwb047	5100	2.06	-0.22	1.6	-0.15
82747	bwb048	5000	2.06	-0.26	1.3	-0.28
63856	bwb049	4700	2.01	0.33	1.3	-0.20
231364	bwb053	4800	1.99	0.27	1.5	+0.17
82742	bwb054 :	4400	1.68	0.17	1.5	+0.70
73506	bwb055	4200	1.67	-0.24	1.5	+0.50
222451	bwb056	4750	1.94	-0.33	1.3	+0.10
73504	bwb057	4550	1.92	-0.16	1.4	+0.40
82761	bwb058	4800	2.01	-0.21	1.5	+0.12
222618	bwb060	4800	2.03	-0.33	1.4	+0.17
357480*	bwb061*	4400	1.90	0.11	1.7	-0.20
357480	bwb061	4800	2.06	0.11	1.4	+0.36
554664	bwb062	4600	1.91	-0.48	1.5	+0.29
73514	bwb064	4900	2.04	-0.41	1.5	0.00
205257	bwb068	4600	1.94	-1.10	1.5	+0.24
205436	bwb071	5200	2.27	0.16	1.4	-0.04
82798	bwb072	5050	2.17	-0.06	1.1	0.00
73515	bwb073	4550	1.81	-0.45	1.4	+0.17
63794	bwb076	4750	2.00	-0.31	1.3	0.00
63792	bwb077	4450	1.82	-0.15	1.3	+0.20
54167	bwb078	4800	2.06	-0.38	1.4	+0.20

Tabela A.1 - Continuação.

OGLE n°	GIRAFFE n°	T _{eff}	log g	[Fe/H]	v _t	[Na/Fe]
54132	bwb080	4950	2.06	-0.11	1.4	+0.00
44560	bwb082	4550	1.93	-0.23	1.4	-0.07
205356	bwb083	4950	2.16	-0.19	1.5	+0.00
63800	bwb085	4850	1.96	0.31	1.5	+0.20
63849	bwb086	4750	1.97	-0.92	1.4	+0.00
537070*	bwb087*	4800	1.90	-1.21	1.7	+0.15
537070	bwb087	5150	2.14	-1.21	1.1	+0.20
63823	bwb088	4550	1.87	-0.04	1.4	+0.05
545401	bwb090	5150	2.22	0.01	1.4	+0.00
545440	bwb091	4500	1.91	-0.60	1.5	+0.00
54311	bwb092	4900	2.15	0.26	1.5	+0.00
537101	bwb093	4800	2.07	-0.67	1.3	-0.30
554655	bwb095	4900	2.03	-0.34	1.5	-0.25
392918*	bwb096*	4100	1.70	-0.21	1.5	+0.00
63839	bwb097	4300	1.74	-0.22	1.4	+0.20
554700	bwb098	4900	2.02	-0.17	1.4	+0.07
554787	bwb099	4700	2.04	-0.58	1.2	-0.15
63850	bwb101	4600	1.78	-1.61	1.6	+0.00
402294	bwb102	4800	2.05	-0.50	1.2	+0.00
63820	bwb103	5100	2.19	-0.14	1.2	-0.42
393015	bwb104	4850	2.09	-0.06	1.3	+0.35
554663	bwb105	4700	1.86	-0.72	1.3	-0.15
63834	bwb106	4950	2.08	0.16	1.4	+0.00
402361	bwb107	4950	2.00	-1.05	1.4	-0.15
402414	bwb110	4650	1.99	-0.21	1.4	+0.00
545288	bwb111	4600	1.94	0.13	1.3	+0.13
554889	bwb112	5000	2.18	-0.10	1.3	+0.00
402315	bwb113	4750	1.97	-0.17	1.4	+0.30
554811	bwb114	4900	2.11	0.17	1.3	+0.05

Tabela A.1 - Continuação.

OGLE n°	GIRAFFE n°	T _{eff}	log g	[Fe/H]	v _t	[Na/Fe]
234671	bwb115	4500	1.86	0.06	1.4	+0.00
402332	bwb117	4500	1.82	-0.31	1.4	+0.07
402322	bwb118	4800	1.94	-0.94	1.5	+0.25
564743	bwb119	4250	1.70	0.21	1.4	+0.25
402311	bwb120	4500	1.89	0.08	1.5	+0.35
244582	bwb122	4950	2.01	-0.81	1.3	+0.15
244504	bwb123	4550	1.83	-0.25	1.4	-0.15
402607	bwb128	4800	2.04	-0.82	1.3	+0.15
402531	bwb130	5100	2.21	-0.85	1.2	+0.10
402325	bwb132	4500	1.87	-0.32	1.4	-0.15
256308	bwb135	4800	1.95	-1.69	1.4	+0.00
Baade's window faint: BW-f						
585982	bwf003	4600	1.99	-0.08	1.4	+0.28
575308	bwf004	4350	1.84	0.27	1.4	+0.68
575289	bwf005	4450	1.92	-0.50	1.5	+0.25
433830	bwf008	4200	1.87	0.18	1.5	+0.27
554980	bwf010	4600	1.99	0.31	1.5	+0.25
564768	bwf016	4150	1.74	-0.30	1.3	+0.30
586077	bwf017	4500	2.02	0.21	1.3	+0.10
564789	bwf019	4100	1.70	-0.15	1.2	+0.00
575360	bwf021	4500	1.96	-0.05	1.2	+0.75
240459	bwf036	4550	2.02	-0.39	1.2	0.00
231310	bwf041	4500	1.95	0.30	1.1	+0.84
231185	bwf049	4500	1.98	0.19	1.3	+0.37
222412	bwf054	4400	1.86	-0.11	1.3	+0.22
222523	bwf059	4250	1.88	0.01	1.4	+0.20
Field at -6° bright: B6-b						
41958c3	b6b002	5100	2.04	0.05	1.5	+0.25
157820c3	b6b003 0o	4800	1.87	-0.73	1.6	-0.15
32799c3	b6b004	4850	2.04	-1.25	1.5	+0.00

Tabela A.1 - Continuação.

OGLE n°	GIRAFFE n°	T _{eff}	log g	[Fe/H]	v _t	[Na/Fe]
76187c3	b6b005	4550	1.79	-0.42	1.6	+0.45
38354c3	b6b006	4700	1.83	-0.61	1.7	+0.15
203158c3	b6b007	4800	1.86	-0.04	1.6	+0.15
39802c3	b6b008	5200	2.17	-0.50	1.6	+0.00
43054c3	b6b009	4800	2.01	-1.03	1.5	+0.00
46885c3	b6b010	4350	1.70	0.00	1.5	+0.50
1604c2	b6b011	4700	1.92	-1.13	1.4	+0.00
36989c3	b6b012	4700	1.88	0.05	1.5	-0.40
32832c2	b6b017	4350	1.71	-0.03	1.5	+0.30
62009c2	b6b018	4350	1.73	-0.39	1.5	+0.15
38565c2	b6b019	4600	1.87	-0.26	1.7	+0.25
204270c3	b6b020	4900	2.05	0.02	1.3	+0.00
69429c3	b6b021	4500	1.79	-0.76	1.5	+0.08
56671c3	b6b022	4900	1.98	-0.20	1.3	-0.60
25213c2	b6b023	4600	1.87	0.09	1.5	+0.15
35428c2	b6b024	4800	1.92	-1.16	1.6	+0.00
31338c2	b6b026	4700	1.89	-0.55	1.6	+0.10
53477c2	b6b028	4650	1.85	-0.55	1.6	+0.00
56410c2	b6b029	4600	1.81	-1.10	1.5	-0.10
4799c2	b6b030	4950	2.10	-0.12	1.2	+0.00
43239c2	b6b031	5200	2.19	-1.26	1.6	+0.00
14297c2	b6b033	4900	2.01	-0.66	1.8	+0.15
17437c2	b6b034	4800	1.97	-0.50	1.6	+0.25
41995c2	b6b035	4800	1.98	-1.58	2.0	+0.00
30173c2	b6b036	4900	2.05	-0.90	1.7	+0.00
45160c2	b6b037	4700	1.91	-0.56	1.5	+0.20
13661c2	b6b038	4850	1.98	-0.09	1.5	+0.00
212324c6	b6b039	4800	1.88	-0.32	1.2	+0.00
10381c2	b6b040	4700	1.90	-0.14	1.3	+0.00

Tabela A.1 - Continuação.

OGLE n°	GIRAFFE n°	T _{eff}	log g	[Fe/H]	v _t	[Na/Fe]
14893c2	b6b041	4050	1.51	-0.47	1.5	+0.10
204828c2	b6b042	5000	2.10	-0.22	1.5	+0.00
203913c2	b6b043	4900	1.93	-0.24	1.5	+0.05
33058c2*	b6b044*	4500	1.80	-0.37	1.4	+0.35
33058c2	b6b044	4550	1.84	-0.37	1.7	+0.35
212175c6	b6b045	4650	1.90	-0.47	1.5	+0.25
213150c6	b6b046	4300	1.67	-0.02	1.5	+0.05
1678c2	b6b048	4900	1.98	-0.95	1.8	+0.00
874c2	b6b049	4550	1.84	-0.32	1.5	+0.68
7694c2	b6b050	5100	2.11	0.15	1.9	+0.08
8312c2	b6b051	5000	2.07	-0.32	2.0	+0.00
19402c1	b6b052	4550	1.83	-0.61	1.5	+0.00
23483c1	b6b053	5150	2.01	-0.52	1.4	+0.00
94324c6	b6b055	4700	1.90	-0.39	1.6	+0.34
99147c5	b6b056	4550	1.86	-0.60	1.6	+0.00
96158c6	b6b058	5000	2.10	-0.37	1.4	+0.25
100047c6*	b6b060*	4300	1.70	-0.42	1.6	+0.34
100047c6	b6b060	4350	1.72	-0.42	1.5	+0.30
102180c6	b6b061	4550	1.86	-0.39	1.4	+0.00
211484c6	b6b062	4800	1.92	-0.60	1.4	+0.00
106969c6	b6b064	4950	1.98	-1.00	1.5	+0.00
91438c6	b6b065	5150	2.10	-0.62	1.4	+0.00
74262c6	b6b066	4950	2.08	-0.32	1.2	+0.08
79869c6	b6b067	5300	2.23	-0.48	1.4	-0.08
98974c6	b6b069	5200	2.12	-0.39	1.3	+0.00
99069c6	b6b070	5400	2.27	-0.26	1.6	-0.14
100384c6	b6b072	4550	1.83	-0.57	1.6	+0.25
108928c6	b6b073	4850	1.96	-0.88	1.5	+0.05
101274c6	b6b074	5150	2.14	-0.06	1.5	+0.00

Tabela A.1 - Continuação.

OGLE n°	GIRAFFE n°	T _{eff}	log g	[Fe/H]	v _t	[Na/Fe]
71769c6	b6b075	5300	2.13	-0.22	1.5	+0.00
62520c6	b6b077	4950	2.09	-0.84	1.5	-0.09
60577c6	b6b078	4900	1.97	-0.18	1.5	+0.17
43679c6	b6b079	4950	2.10	-0.59	1.4	+0.00
55804c6	b6b080	4100	1.54	0.19	1.5	+0.25
54561c6	b6b081	4900	1.97	-0.25	1.4	+0.06
80281c6	b6b082	5050	2.15	-0.08	1.5	+0.11
68782c6	b6b083	4750	1.93	-0.50	1.5	+0.12
205837c7	b6b085	4750	1.95	-0.36	1.6	+0.00
75097c7	b6b087	4550	1.82	-0.09	1.5	+0.10
63747c7	b6b088	4950	2.02	-0.09	1.5	-0.03
46642c7	b6b090	4650	1.91	0.21	1.5	+0.10
57883c7	b6b091	4550	1.81	-0.25	1.5	+0.40
51688c6	b6b092	4700	1.95	-0.42	1.5	+0.27
209695c7	b6b093	4900	2.07	-0.11	1.4	+0.13
90337c7*	b6b095*	4700	1.70	-0.51	1.5	+0.07
90337c7	b6b095	4850	2.02	-0.51	1.5	+0.17
87232c7	b6b099	4950	2.03	-0.21	1.5	+0.08
54480c7	b6b100	5100	2.08	-0.40	1.5	+0.00
79003c7	b6b103	5200	2.08	-0.40	1.5	+1.40
50439c7	b6b104	5100	2.16	-0.08	1.4	+0.18
97618c7	b6b107	4900	1.88	-0.91	1.5	+0.00
102010c7	b6b108	4750	1.90	-0.56	1.4	+0.08
88768c7	b6b111	4400	1.72	-0.25	1.5	+0.47
86105c7	b6b112	4900	2.06	-0.14	1.4	+0.17
77209c7	b6b113	4800	1.98	-0.43	1.3	+0.05
98458c7	b6b114	4300	1.68	-0.02	1.5	+0.26
5685c3	b6b116	4900	1.98	-1.15	1.5	+0.00
104943c6	b6b117	5300	2.10	-1.20	1.5	+0.00

Tabela A.1 - Continuação.

OGLE n°	GIRAFFE n°	T _{eff}	log g	[Fe/H]	v _t	[Na/Fe]
5118c4	b6b118	4750	1.95	0.06	1.6	+0.20
110465c7	b6b119	4600	1.90	0.00	1.4	+0.00
212654c8	b6b120	4850	2.01	0.39	1.4	+0.62
108191c7	b6b121	5050	2.11	-0.77	1.5	+0.10
101167c8	b6b123	5100	2.16	0.05	1.5	+0.09
103539c7	b6b124	4850	1.99	-0.31	1.5	+0.25
32080c3	b6b127	5000	1.99	-0.17	1.6	+0.35
43791c3	b6b128	4950	2.20	0.00	1.3	-0.09
204664c4	b6b129	5400	2.22	0.18	1.5	+0.40
11653c3*	b6b132*	4900	1.80	0.04	1.6	+0.54
11653c3	b6b132	4850	1.91	0.04	1.5	+0.53
21259c2*	b6b134*	4800	1.90	-0.29	1.3	+0.25
21259c2	b6b134	5000	2.02	-0.29	1.5	+0.30
Field at -6° faint: B6-f						
200810c3	b6f003	4100	1.66	0.11	1.5	+0.25
34058c3	b6f005	4400	1.84	0.21	1.6	+0.15
40528c3	b6f008	4450	1.88	-0.48	1.7	+0.65
29280c3*	b6f010*	4400	1.80	0.07	1.6	+0.95
29280c3	b6f010	4350	1.80	0.07	1.5	+1.00
108051c7*	b6f013*	4100	1.60	0.03	1.3	+0.32
108051c7	b6f013	4250	1.79	0.03	1.6	+0.35
20863c2	b6f015	4200	1.75	0.08	1.5	+0.80
31220c2*	b6f016*	4700	2.00	0.10	1.6	+0.30
31220c2	b6f016	4400	1.81	0.10	1.7	+0.00
50086c2	b6f017	4350	1.80	0.32	1.5	+0.70
208608c3	b6f018	4750	2.06	-0.56	1.5	+0.00
58159c3	b6f020	4400	1.93	-0.09	1.5	+0.32
205096c2	b6f023	4800	2.10	-0.15	1.4	+0.10
148090c2	b6f024	4700	2.05	-0.28	1.5	+0.32
42348c2	b6f025	4400	1.84	-0.09	1.5	+0.29

Tabela A.1 - Continuação.

OGLE n°	GIRAFFE n°	T _{eff}	log g	[Fe/H]	v _t	[Na/Fe]
149531c2	b6f027	4500	1.91	-0.38	1.5	+0.00
31090c2*	b6f028*	4600	1.90	-0.37	1.8	+0.37
31090c2	b6f028	4700	1.98	-0.37	1.5	+0.42
14261c2	b6f029	4200	1.72	0.40	1.4	+0.80
69986c2	b6f030	4650	2.01	-0.27	1.5	+0.30
73344c2	b6f031	4500	2.05	0.00	1.5	+0.70
22905c2	b6f036	4500	1.89	-0.45	1.4	+0.10
47298c2	b6f037	4350	1.79	-0.51	1.7	+0.42
33601c1	b6f038	4400	1.94	0.29	1.6	+0.71
43023c2	b6f039	4600	1.95	-0.46	1.4	+0.18
107527c6	b6f042	3750	1.20	-0.96	1.5	+0.10
31176c2	b6f043	4400	1.76	-0.22	1.5	+0.45
17038c2	b6f044	4300	1.76	0.29	1.4	+0.62
103742c5	b6f045	4100	1.69	0.31	1.5	+0.66
959c2	b6f049	4650	2.00	-0.58	1.4	+0.00
10584c2	b6f051	4500	1.91	-0.38	1.4	+0.24
15094c1	b6f052	4600	2.01	-0.19	1.4	+0.27
95371c6	b6f054	4500	1.92	-0.27	1.4	+0.28
98734c6	b6f055	4700	1.99	-0.06	1.1	-0.50
91631c6	b6f058	4800	2.05	-0.28	1.5	+0.00
95545c6	b6f059	4250	1.77	-0.45	1.3	+0.20
96460c6	b6f061	4650	1.94	0.25	1.4	+0.49
72513c6	b6f064	4700	1.98	-0.48	1.7	+0.00
69731c6	b6f065	4450	1.95	-0.19	1.5	+0.38
73072c6	b6f066	4050	1.60	0.12	1.5	+0.25
56641c6	b6f068	4450	1.81	0.17	1.5	+0.45
208907c6	b6f069	4900	2.09	-0.17	1.5	+0.05
71832c6	b6f071	4300	1.80	-0.09	1.4	+0.53
77481c6	b6f072	4950	2.13	-0.28	1.5	+0.10

Tabela A.1 - Continuação.

OGLE n°	GIRAFFE n°	T _{eff}	log g	[Fe/H]	v _t	[Na/Fe]
91776c6	b6f073	4800	2.11	0.23	1.5	+0.40
93621c6	b6f074	4550	1.92	-0.22	1.5	+0.38
99940c6	b6f075	4200	1.69	-0.25	1.6	+0.17
53554c6	b6f078	4350	1.78	0.08	1.4	+0.72
63690c6	b6f079	4800	2.06	0.03	1.5	+0.36
205097c6	b6f080	4700	2.18	0.26	1.4	+0.21
52922c6	b6f081	4500	1.94	-0.30	1.5	+0.26
51954c6	b6f082	4300	1.76	0.03	1.5	+0.15
90995c7	b6f086	4800	2.07	-0.03	1.4	-0.08
41505c7	b6f087	4800	2.06	-0.48	1.6	+0.10
205852c7	b6f089	4350	1.86	0.06	1.5	+0.43
75601c7	b6f091	4400	1.79	-0.08	1.5	+0.10
60208c7*	b6f092*	4400	1.90	-0.41	1.7	+0.12
60208c7	b6f092	4400	1.83	-0.41	1.6	+0.07
46088c7	b6f093	4500	1.90	-0.20	1.4	+0.35
77743c7*	b6f095*	4600	1.90	0.11	1.8	+0.80
77743c7	b6f095	4350	1.78	0.11	1.5	+0.69
85832c7	b6f096	4250	1.77	0.01	1.5	+0.67
211927c7	b6f097	4850	2.06	-0.81	1.0	+0.00
93881c7	b6f098	4400	1.83	0.03	1.5	+0.56
82739c7	b6f099	4600	1.99	-0.45	1.5	+0.75
73636c7	b6f102	4450	1.86	-0.22	1.5	+0.24
56730c7	b6f103	4300	1.83	0.00	1.3	+0.45
48678c7	b6f104	4750	2.00	0.17	1.6	+0.57
58592c7	b6f105	4550	1.95	0.17	1.6	+0.55
77419c7	b6f106	4600	1.93	0.18	1.5	+0.57
97453c7	b6f108	4700	2.00	0.02	1.5	+0.37
105594c7	b6f109	4900	2.10	-0.25	1.6	+0.00
80262c8	b6f110	4700	2.06	0.23	1.5	+0.25

Tabela A.1 - Continuação.

OGLE n°	GIRAFFE n°	T _{eff}	log g	[Fe/H]	v _t	[Na/Fe]
98090c7	b6f112	4550	1.88	-0.05	1.6	+0.00
75382c8	b6f113	4450	1.88	0.20	1.5	+0.28
94445c7	b6f114	4550	1.93	-0.29	1.5	+0.35
132843c3	b6f116	4650	2.00	-0.05	1.5	+0.00
8683c4	b6f117	4250	1.69	0.02	1.4	+0.27
215027c7	b6f118	4100	1.68	0.20	1.5	+0.59
213817c7	b6f119	4450	1.86	0.27	1.5	+0.90
110776c7	b6f120	4600	1.84	-0.85	1.5	+0.00
111007c8	b6f121	4300	1.81	0.01	1.4	+0.30
108627c7	b6f123	4600	2.03	0.02	1.4	+0.75
97461c8	b6f124	4700	1.97	0.31	1.5	+0.50
35429c3	b6f126	4400	2.01	0.30	1.5	+0.43
19346c3	b6f128	4900	2.09	0.27	1.5	+0.25
41112c4	b6f129	4500	1.89	-0.31	1.5	+0.20
9081c3	b6f130	4500	1.93	-0.25	1.5	+0.38
35643c4	b6f131	5050	2.17	0.22	1.6	+0.34
27350c4	b6f134	4850	2.08	-0.36	1.3	+0.23
6693c3	b6f135	4650	2.01	-0.03	1.5	+0.38

Espectros de algumas estrelas

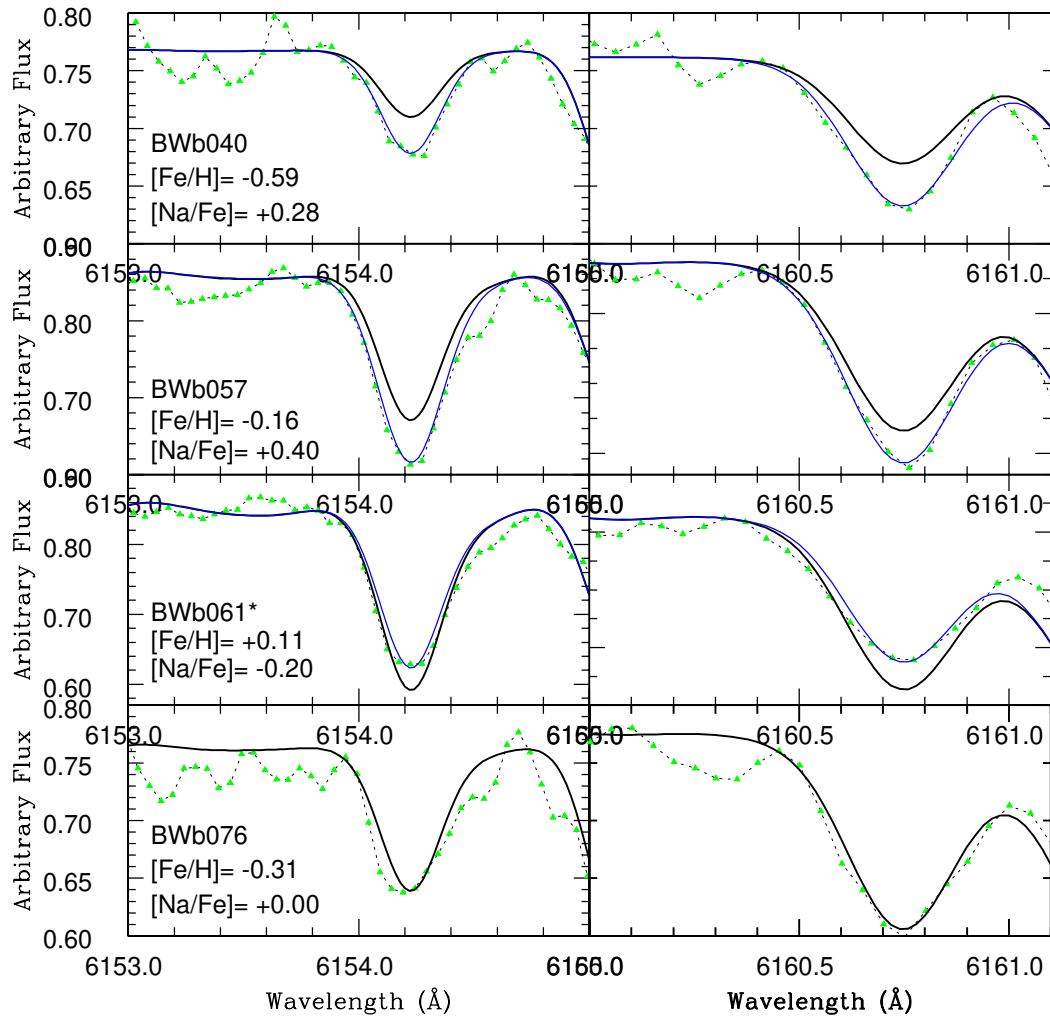


Figura B.1: Espectros de 4 estrelas para a região BW-b. Esquerda: Linha NaI 6154.230 Å; Direita: Linha NaI 6160.753 Å.

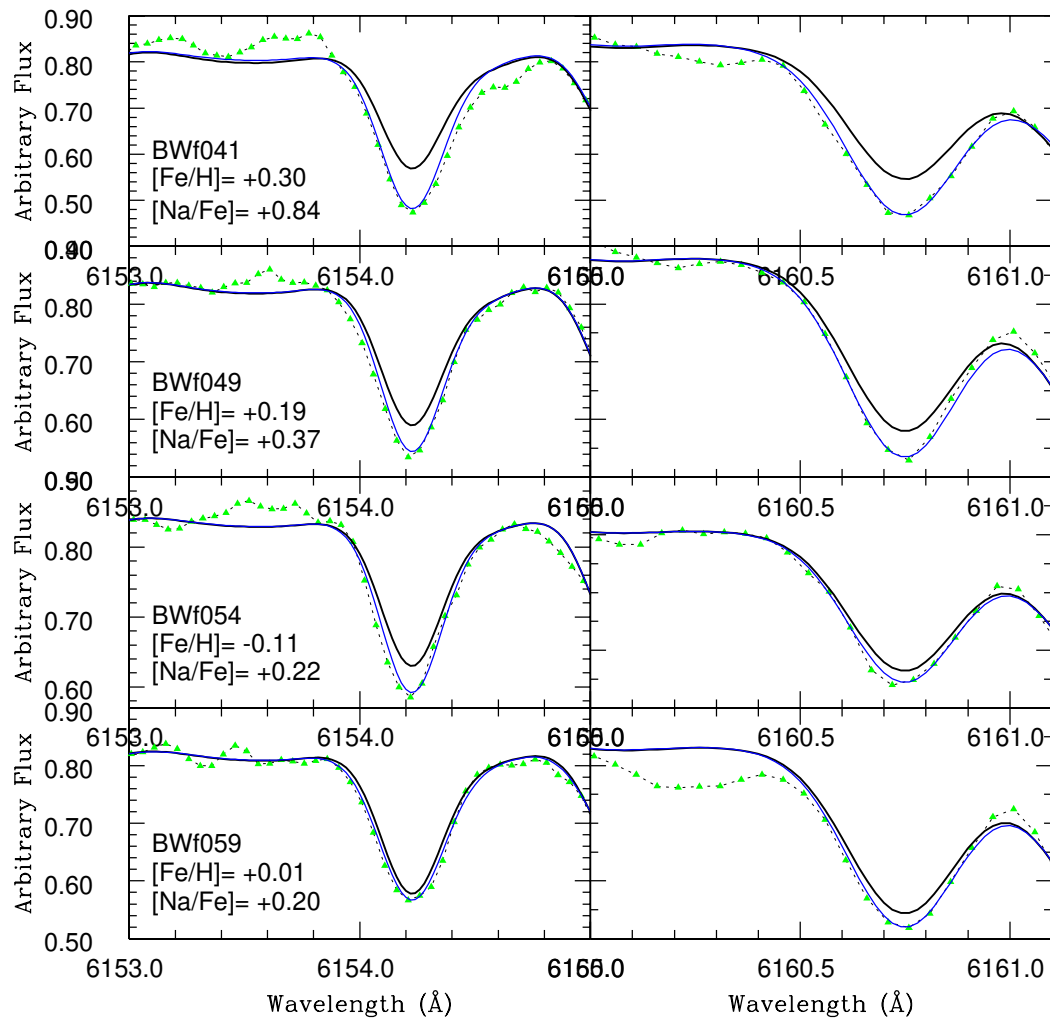


Figura B.2: Espectros de 4 estrelas para a região BW-f. Esquerda: Linha NaI 6154.230 $\text{\AA}$; Direita: Linha NaI 6160.753 $\text{\AA}$.

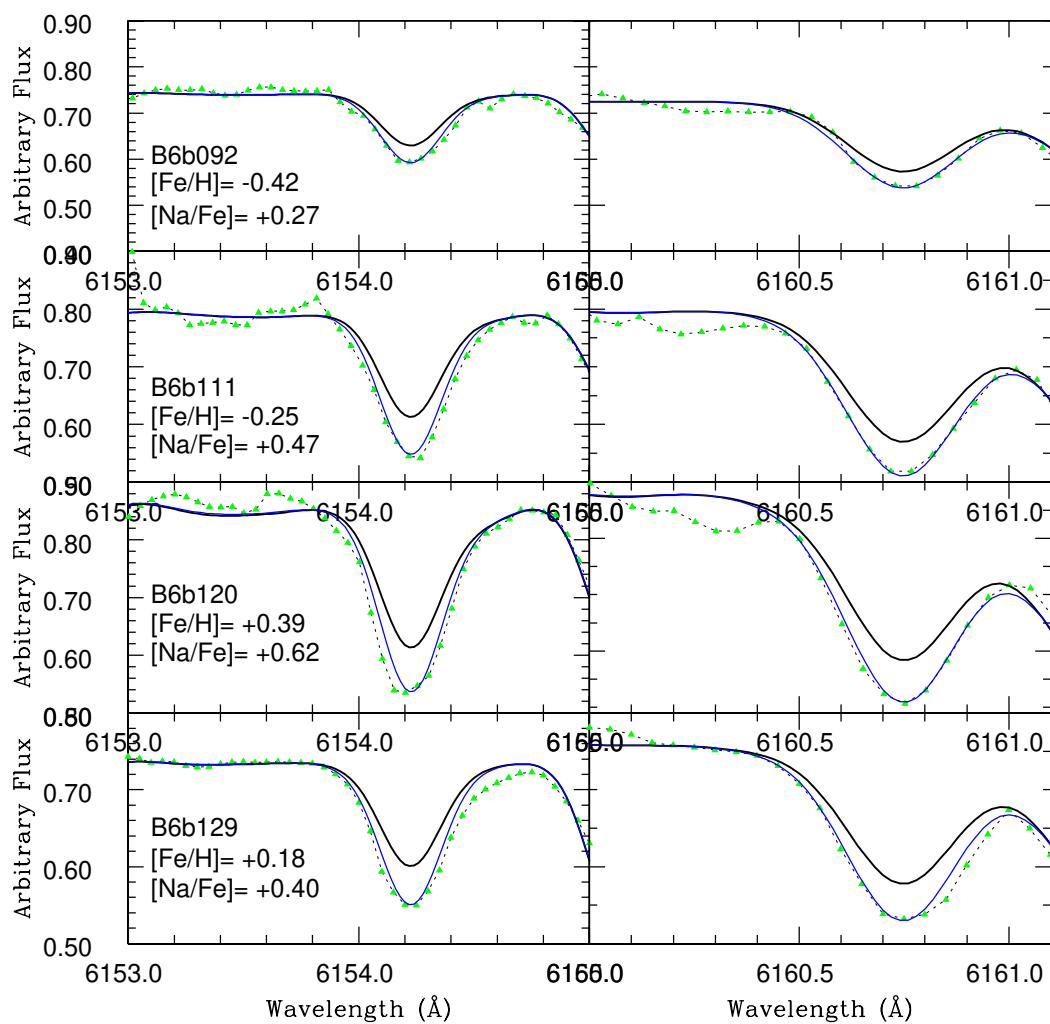


Figura B.3: Espectros de 4 estrelas para a região B6-b. Esquerda: Linha NaI 6154.230 Å; Direita: Linha NaI 6160.753 Å.

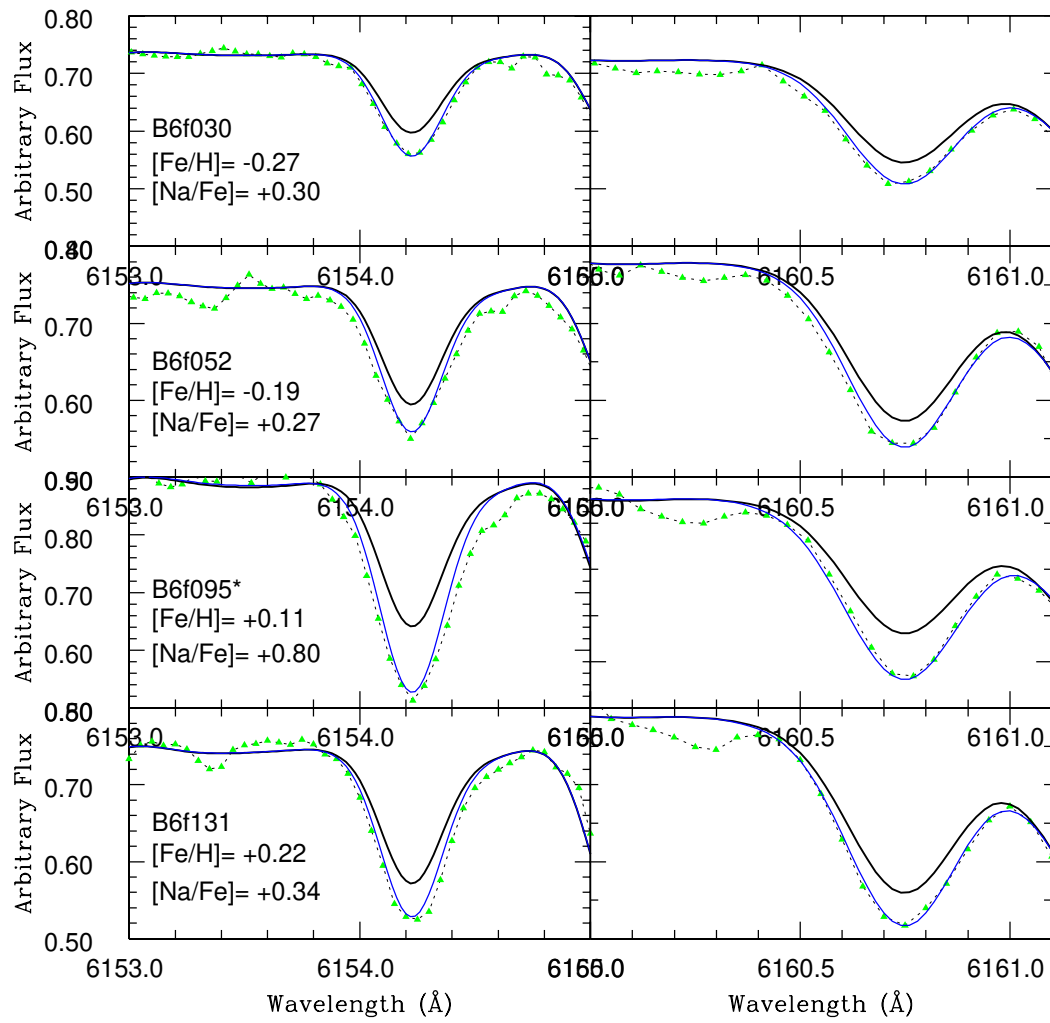


Figura B.4: Espectros de 4 estrelas para a região B6-f. Esquerda: Linha NaI 6154.230 Å; Direita: Linha NaI 6160.753 Å.