



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA
MESTRADO PROFISSIONAL**



TATIANE BITENCOURT BARRETO

**ESPECTRANDO: PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
PARA O ENSINO DE ESPECTROSCOPIA DE ESTRELAS**

**FEIRA DE SANTANA
2020**

TATIANE BITENCOURT BARRETO

**ESPECTRANDO: PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
PARA O ENSINO DE ESPECTROSCOPIA DE ESTRELAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Astronomia – Mestrado Profissional, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Astronomia

Orientador(a): Prof. Dr. Eduardo Brescansin de Amôres

Coorientador(a): Prof^a Dra. Ana Carla Peixoto Bittencourt Ragni

FEIRA DE SANTANA

2020



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CANDIDATO(A): TATIANE BITENCOURT BARRETO
DATA DA DEFESA: 31 de março de 2020 LOCAL: Via Skype
HORARIO DE INÍCIO: 17h59

MEMBROS DA BANCA		FUNÇÃO	TÍTULO	INSTITUIÇÃO DE ORIGEM
NOME COMPLETO	CPF			
EDUARDO BRESANSIN DE AMÓRES	181.850.838-94	Presidente	DR	DFIS - UEFS
DIAGOBERTO DA SILVA FREITAS	541.965.955-53	Membro Interno	DR	DFIS - UEFS
MARIA JAQUELINE VASCONCELOS	710.388.766-72	Membro Externo	DR	DCET - UESB

TÍTULO DEFINITIVO DA DISSERTAÇÃO*:

ESPECTRANDO PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE ESPECTROSCOPIA DE ESTRELAS

*Anexo: produto(s) educacional(is) gerado(s) neste trabalho

Em sessão pública, após exposição de 49 min, a candidata foi argüida oralmente pelos membros da banca, durante o período de 40 minutos. A banca chegou ao seguinte resultado**.

- APROVADA
 INSUFICIENTE
 REPROVADO(A)

** Recomendações: Seguir as recomendações para correções enviadas pelos membros da banca em pareceres, bem como em arquivos com questões e a versão da Dissertação (com as correções) no formato pdf.

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, que é abaixo assinada pelos membros da banca, na ordem acima relacionada, pelo candidato e pelo coordenador do Programa de Pós-Graduação em Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Feira de Santana, 31 de março de 2020

Presidente: P/ Carlos Alberto de Lima Ribeiro
Membro 1: P/ Carlos Alberto de Lima Ribeiro
Membro 2: P/ Carlos Alberto de Lima Ribeiro
Membro 3: _____
Candidato(a): Tatiane Bitencourt Barreto
Coordenador do PGAstro: Carlos Alberto de Lima Ribeiro

† O aluno deverá encaminhar à Coordenação do PGAstro, no prazo máximo de 60 dias a contar da data da defesa, os exemplares definitivos da Dissertação, após realizadas as correções sugeridas pela banca.



**ANEXO DA ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO:
PRODUTO(S) EDUCACIONAL(IS) GERADO(S) NO TRABALHO FINAL DE CURSO**

CANDIDATO (A): TATIANE BITENCOURT BARRETO

DATA DA DEFESA: 31 de março de 2020 **LOCAL:** Via Skype

HORÁRIO DE INÍCIO: 13h59

ESPECTRANDO: Uma Sequência Didática para estudar classificação estelar (ver produto em anexo)

Ferra de Santana, 31 de março de 2020

Presidente: Dr. Carlos Alberto de Sousa Ribeiro

Membro 1: Dr. Carlos Alberto de Sousa Ribeiro

Membro 2: Dr. Carlos Alberto de Sousa Ribeiro

Membro 3: _____

Candidato (a): Tatiane Bitencourt Barreto

Coordenador de PGAstro: Carlos Alberto de Sousa Ribeiro

Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteadó - UEFS

Barreto, Tatiane Bitencourt

B264e Espectrando: proposta de utilização de uma sequência didática para o ensino de espectroscopia de estrelas / Tatiane Bitencourt Barreto. - 2020. 134f.: il.

Orientador: Eduardo Brescansin de Amôres

Coorientadora: Ana Carla Peixoto Bittencourt Ragni

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual de Feira de Santana. Programa de Pós-Graduação em Astronomia, 2020.

1. Sequência didática. 2. Ensino. 3. Espectroscopia. 4. Estrelas. 5. Astronomia. I. Amôres, Eduardo Brescansin de, orient. II. Ragni, Ana Carla Peixoto Bittencourt, coorient. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDU: 524.3

À estrela mais brilhante, minha mãe Carminha, exemplo maior de força, coragem e dedicação. Sua capacidade de acreditar em mim me fez chegar até aqui...

Dedico (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

A Deus, que com Sua infinita sabedoria e bondade me ensinou a vencer os desafios do caminho que me traria até aqui.

Ao meu companheiro Jorge e minhas filhas Isabela e Helena pelos momentos de sacrifício e renúncia em nome do nosso objetivo.

Aos meus pais, Maria do Carmo (*in memoriam*) e Romilson e minhas irmãs, Juliane e Viviane por todo esforço e dedicação destinados a me fazer continuar. Sem vocês não seria possível.

À tia Reinilva, uma grande incentivadora dessa empreitada, pelas palavras de apoio que me impulsionaram diante de cada obstáculo.

Aos meus queridos orientadores Prof. Dr Eduardo Brescansin de Amôres e Prof^a Dr^a Ana Carla Peixoto Bittencourt Ragni pela infinita paciência e pela generosidade em compartilhar saberes. Por tornarem nossa relação maior que a experiência acadêmica, por já fazerem parte da minha vida. O que aprendi com vocês levarei sempre comigo.

À Prof^a Dr^a Vera Martin por toda compreensão e generosidade dispensada durante o período em que estive na coordenação do curso, especialmente nos momentos em que mais precisei.

Aos professores Dagoberto da Silva Freitas e Iranderly Fernandes de Fernandes pelos comentários e sugestões na relatoria em todas as fases do projeto.

A todos os mestres do MPAstro pela acolhida, pelos ensinamentos, pelas cobranças, por tudo que acrescentaram na minha vida acadêmica.

Aos colegas de turma, pelas experiências compartilhadas, pelo incentivo e pelo apoio constantes. Especialmente aos colegas da 6^a turma, colaboradores desse trabalho, pela generosa participação nesse processo.

A todos os meus amigos, especialmente às queridas Alyne, Janylle e Neide pela colaboração, apoio e incentivo constantes.

A todos que de alguma forma me fizeram acreditar que era possível.

Agradeço à equipe do CLEA.

This research faz made use of the SIMBAD database, operated at CDS, Strasbourg, France. 2000, A7AS, 143,9, "The SIMBAD astronomical database", Wenger et al.

“Olhem para as estrelas e aprendam com elas”

Albert Einstein.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. REVISÃO SOBRE ATIVIDADES E SOFTWARES ENVOLVENDO ESPECTROSCOPIA NO ENSINO DE ASTRONOMIA.....	3
1.2. OBJETIVOS.....	6
1.3. ASPECTOS DE ORIGINALIDADE DO TRABALHO.....	7
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	8
2. A ESPECTROSCOPIA COMO TÉCNICA PARA ESTUDO DE ESTRELAS.....	9
2.1. HISTÓRICO.....	9
2.1.1. LEIS DE KIRCHHOFF.....	11
2.2. A FORMAÇÃO DAS LINHAS ESPECTRAIS.....	13
2.3. A SEQUÊNCIA ESPECTRAL E CLASSIFICAÇÃO ESTELAR.....	17
2.3.1. CLASSIFICAÇÃO DE HARVARD.....	20
2.3.2. O DIAGRAMA HR.....	24
3. ESPECTRANDO: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ESTUDAR CLASSIFICAÇÃO ESTELAR.....	27
3.1. A SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO INSTRUMENTO DE ENSINO- APRENDIZAGEM.....	27
3.2. METODOLOGIA.....	28
3.3. APLICAÇÃO DAS ATIVIDADES DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA ESPECTRANDO.....	30
3.3.1. PRIMEIRO ENCONTRO.....	30
3.3.2. SEGUNDO ENCONTRO.....	39
3.3.3. TERCEIRO ENCONTRO.....	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1. ATIVIDADE 3 – THE CLASSIFICATION OF STELLAR SPECTRA.....	50
4.2. ATIVIDADE 4 – RECONHECENDO ESPECTROS.....	63
4.3. ATIVIDADE 5 – CONSTRUINDO ESPECTROS COM PROGRAMA COMPUTACIONAL.....	64
4.4. ATIVIDADE 6 – IDENTIFICANDO ESTRELAS NO DIAGRAMA HR.....	65
4.5. AVALIAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS PRÉ E PÓS-TESTE.....	69
5. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS.....	78
REFERÊNCIAS.....	83
APÊNDICES.....	86

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 2.1: Representação artística da experiência de dispersão luminosa realizada por Isaac Newton.
- FIGURA 2.2: Linha de Fraunhofer do espectro solar.
- FIGURA 2.3: Representação de um espectro contínuo.
- FIGURA 2.4: Representação de um espectro com linhas em emissão.
- FIGURA 2.5: Representação de um espectro com linhas em absorção.
- FIGURA 2.6: Formação das linhas em absorção e em emissão devido as transições eletrônicas.
- FIGURA 2.7: Irradiância de um corpo negro para várias temperaturas.
- FIGURA 2.8: Deslocamento do pico de intensidade máxima do espectro de algumas estrelas em função da temperatura.
- FIGURA 2.9: Abundância dos elementos químicos encontrados nas fotosferas das estrelas em função do número atômico.
- FIGURA 2.10: Ilustração dos espectros de 13 estrelas diferentes.
- FIGURA 2.11: Algumas das “Calculadoras de Pickering”.
- FIGURA 2.12: Diagrama HR com a localização de algumas estrelas conhecidas.
- FIGURA 3.1: Esquema representativo das atividades integrantes da Sequência Didática *Espectrando*.
- FIGURA 3.2: Estudante respondendo ao questionário pré-teste.
- FIGURA 3.3: Esquema representativo dos conteúdos abordados na *Atividade 2* da SD.
- FIGURA 3.4: Realização da *Atividade 2*.
- FIGURA 3.5: Tela inicial da atividade de classificação espectral do CLEA.
- FIGURA 3.6: Tela observada no *passo 3* da *Atividade 3* da SD.
- FIGURA 3.7: Tela com a imagem do espectro desconhecido HD 124320.
- FIGURA 3.8: Tela observada no *passo 7* da *Atividade 3* da SD.
- FIGURA 3.9: Tela observada no *passo 9* da *Atividade 3* da SD.
- FIGURA 3.10: Tela observada no *passo 10* da *Atividade 3* da SD.
- FIGURA 3.11: Tela observada no *passo 11* da *Atividade 3* da SD.
- FIGURA 3.12(a): Espectro do tipo F0V na forma de gráfico.
- FIGURA 3.12(b): Espectro do tipo F0V na forma fotográfica.
- FIGURA 3.13: Espectro de diferentes tipos evidenciando o deslocamento de intensidade máxima em função da temperatura da estrela.

FIGURA 3.14: Estudantes realizando a atividade de reconhecimento de espectros.

FIGURA 3.15: Orientações para a realização da atividade de construção de espectros.

FIGURA 3.16: Exemplo de espectro gerado na atividade de construção de espectros.

FIGURA 3.17: Estudante realizando a atividade de construção de espectros.

FIGURA 3.18: Estudante realizando a *Atividade 6* da SD.

FIGURA 4.1: Número de ocorrências de faixas de comprimento de ondas para o ponto mais profundo do espectro desconhecido HD 124320.

FIGURA 4.2: Número de ocorrências de faixas de intensidade para o ponto mais profundo do espectro desconhecido HD 124320.

FIGURA 4.3: Espectro da estrela desconhecida HD 124320.

FIGURA 4.4: Tela de tipos espectrais para comparação com o espectro desconhecido.

FIGURA 4.5: Tela com os espectros dos tipos O5V e B0V observados no *passo 8a* da *Atividade 3* da SD.

FIGURA 4.6: Posição do pico de intensidade máxima em um espectro do tipo B0V.

FIGURA 4.7: Posição do pico de intensidade máxima em um espectro do tipo O5V.

FIGURA 4.8: Posição do pico de intensidade máxima em um espectro do tipo F5V.

FIGURA 4.9: Tela observada no *passo 10* da *Atividade 3* da SD.

FIGURA 4.10: Espectro da estrela desconhecida HD 24189.

FIGURA 4.11: Espectro desconhecido observado no *passo 13* da *Atividade 3* da SD.

FIGURA 4.12: Espectro do tipo M0V observado no *passo 13* da *Atividade 3* da SD.

FIGURA 4.13: Espectro do tipo O5V observado no *passo 13* da *Atividade 3* da SD.

FIGURA 4.14: Espectros construídos na *Atividade 5* da SD.

FIGURA 4.15: Diagrama HR adaptado para a *Atividade 6* da SD.

FIGURA 4.16: Resposta de um estudante à questão 01 do pré-teste da SD.

FIGURA 4.17: Resposta de um estudante à questão 01 do pré-teste da SD.

FIGURA 4.18: Espectros escolhidos pelos estudantes em resposta à questão 02 do pré e do pós-teste da SD.

FIGURA 4.19: Espectros apresentados na questão 3 do pré e pós-teste.

FIGURA 4.20: Diagrama HR adaptado para questão 7 dos questionários pré e pós-teste da SD.

FIGURA 4.21: Resposta de um estudante à questão 01 do pré-teste da SD.

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1: Principais características observadas para cada tipo espectral da Classificação de Harvard.

TABELA 2.2: Classes de Luminosidades propostas Por Morgan, Keenan E Kellman.

TABELA 4.1: Valores médios e desvios padrão dos comprimentos de onda e intensidades do *passo 6b* da *Atividade 3* da SD.

TABELA 4.2: Frequência das respostas para o *passo 8a* da *Atividade 3* da SD.

TABELA 4.3: Frequência dos tipos espectrais atribuídos ao espectro HD 124320 para o *passo 9* da *Atividade 3* da SD.

TABELA 4.4: Valores de mediana dos tipos espectrais para 24 estrelas desconhecidas e suas respectivas respostas padrão.

TABELA 4.5: Valores de mediana dos comprimentos de onda das linhas mais proeminentes dos espectros padrão.

TABELA 4.6: Tipos espectrais atribuídos aos 5 espectros desconhecidos da *Atividade 4* da SD.

TABELA 4.7: Número de ocorrências de tipos espectrais atribuídos na *Atividade 5* da SD.

TABELA 4.8: As 20 estrelas mais brilhantes e seus identificadores de conversão utilizados na *Atividade 6* da SD.

TABELA 4.9: Número de ocorrências das estrelas para o preenchimento do Diagrama HR da *Atividade 6* da SD.

TABELA 4.10: Ocorrências das respostas para a questão 3 do questionário pré-teste da SD.

TABELA 4.11: Ocorrências das respostas para a questão 3 do questionário pós-teste da SD.

TABELA 4.12: Ocorrências das respostas para a questão 5 do questionário pré-teste da SD.

TABELA 4.13: Ocorrências das respostas para a questão 5 do questionário pós-teste da SD.

TABELA 4.14: Ocorrências das respostas para a questão 7 do questionário pré-teste da SD.

TABELA 4.15: Ocorrências das respostas para a questão 7 do questionário pós-teste da SD.

TABELA 4.16: Ocorrências das respostas para a questão 8 do questionário pré-teste da SD.

TABELA 4.17: Ocorrências das respostas para a questão 8 do questionário pós-teste da SD.

RESUMO

Este trabalho de pesquisa propõe a elaboração e a utilização da Sequência Didática “Espectrando: proposta de utilização de uma Sequência Didática para o ensino de espectroscopia de estrelas”, vinculado à linha de pesquisa: Ensino Interdisciplinar de Astronomia e a Difusão Científico-tecnológica. O *corpus* elaborado para análise é uma sequência de atividades que visa estudar a classificação estelar a partir dos espectros eletromagnéticos de algumas estrelas, com atividades a serem elaboradas por professores atuantes na Educação Básica ou no Ensino Superior. A partir dela buscamos instrumentalizar um grupo de professores para utilização de recursos didáticos pedagogicamente adequados para o ensino de conteúdos específicos de Astronomia; motivar os professores a repensar a forma como os conteúdos de Astronomia são abordados em sala de aula, e fomentar a utilização de novas estratégias e metodologias no processo de ensino-aprendizagem de conteúdos de Astronomia na Educação Básica.

Avaliamos as contribuições de uma sequência de atividades intencionalmente organizadas, como potencial recurso metodológico para a compreensão da relação existente entre as principais características físicas de uma estrela (cor, tamanho, brilho) e a sua constituição química, além de se apresentar como uma importante alternativa didática para o professor no processo de ensino-aprendizagem de temas relacionados à Astronomia. Ressaltamos o caráter interdisciplinar da pesquisa com as áreas de Física, Química, Matemática e História. O produto educacional produzido é uma Sequência Didática sobre o conteúdo de espectroscopia estelar que consiste de atividades com recursos didáticos diversificados a serem realizadas pelos estudantes.

Palavras-chave: Sequência Didática, ensino, espectroscopia, estrelas, Astronomia.

ABSTRACT

In this Dissertation is proposed a Didactic Sequence called "Espectrando", which its primary purpose consists in to teach stellar spectroscopy through a Didactic Sequence. The Didactic Sequence was elaborated to study the stellar classification from their spectra through activities elaborated to be employed for teachers at different teaching levels.

The Didact Sequence was applied to a group of eleven teachers in order to capacity them to use didactical resources adquetaley to teach specific astronomy concepts as well as to motivate and lead them to rethink as to discuss the topics related to the Astronomy in the classrooms as well as to incentive the use of new methodologies and strategies in their daily practice.

Besides, we also evaluated the application of the activities of our Didactic Sequence not only concerning the answers but also aspects of its conceptions. The product elaborated called "Espectrando" constituted an alternative tool and a critical methodological resource to understand the relations among the main physical properties of a star (its brightness, size, colour, chemical composition, among others).

Keywords: Didactic Sequence, teaching, spectroscopy, stars, Astronomy.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Muitas pesquisas apontam diversas razões para o estudo de conteúdos específicos de Astronomia na Educação Básica, entre os mais recorrentes pode-se destacar: a suposta característica da Astronomia em despertar vários tipos de sentimentos, junto a diferentes grupos sociais, tais como curiosidade, interesse, fascinação, encantamento, etc. (BERNARDES; IACHEL; SCALVI, 2008); a relevância sócio-histórico-cultural, pelas diversas contribuições para a evolução de civilizações (LEITE; HOSOUME, 2007) ou ainda, o estudo e a aprendizagem de conhecimentos da Astronomia poderia promover ampliação de visão de mundo (LANGHI, 2009).

Seja qual for a razão apontada, boa parte dos pesquisadores em Ensino de Ciências apontam para o potencial educativo intrínseco a essa área do conhecimento.

Na contramão desses argumentos, Langhi e Nardi (2005) relatam as dificuldades encontradas por professores do Ensino Fundamental em relação ao ensino dos conteúdos de Astronomia. Batista et al. (2016) apontam limites na formação da maioria daqueles que atuam na mediação dos conteúdos específicos de Astronomia na Educação Básica. De acordo com Langhi e Nardi (2010) e Bretones (1999) aproximadamente 54 cursos de graduação contemplam disciplinas específicas de Astronomia, no entanto, nos cursos de licenciatura, esses conteúdos estão ausentes ou defasados.

Acreditamos que o caminho a ser percorrido na tentativa de fazer convergir esses panoramas e promover um ensino de Astronomia eficaz nas séries do Ensino Fundamental e Médio das escolas públicas do país, passa pela formação do professor, que envolve um processo contínuo, com aperfeiçoamento ao longo dos anos. Langui (2011) apontou problemas relacionados ao ensino de Astronomia no Brasil, destacando, a lacuna na formação inicial de professores da Educação Básica, cursos de formação continuada que não impactam a prática docente, persistência de erros conceituais em livros didáticos, quantidade reduzida de pesquisas voltadas para o ensino de Astronomia, entre outros.

Dessa forma, iniciativas que promovam a reconstrução da prática pedagógica, e que contribuam para a formação específica de professores nessa área do conhecimento devem ser incentivadas.

Esta pesquisa está alicerçada em trabalhos de educação científica que apresentam iniciativas de caráter pedagógico envolvendo conteúdos, atividades ou experiências relacionadas com espectroscopia na Astronomia para aplicação em algumas séries da Educação Básica ou mesmo no Ensino Superior. Isso porque a introdução de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na Educação Básica tem sido apresentada como uma necessidade para a promoção de um ensino de Física mais eficaz e que encontre no ambiente da sala de aula um contexto mais significativo (Valadares e Moreira, 1998).

Segundo Silva et al. (2011) existem disponíveis na literatura diversos trabalhos que se dedicam a propor que os conteúdos de FMC sejam transpostos ao ensino em uma linguagem acessível a este nível de ensino, e são encontrados relatos de aplicação de projetos de FMC em amostragens de alunos, visando o estudo de concepções alternativas e identificação de obstáculos para o aprendizado dos novos tópicos, em contrapartida de outro aspecto insuficiente aula.

Além disso, consideramos as orientações curriculares para o conteúdo programático de Ciências em nível fundamental e de Ciências da Natureza para o ensino de nível médio. Os PCN's¹ já preconizavam para o Ensino Fundamental (EF) o estudo de conteúdos específicos de Astronomia dentro do eixo temático "Terra e Universo" a ser trabalhado nas séries finais do EF. Enquanto orientavam para o Ensino Médio (PCN+), na área das Ciências da Natureza, o estudo do tema estruturador "Universo, Terra e Vida", composto pelas unidades temáticas: Terra e Sistema Solar, O Universo e sua origem e a Compreensão Humana do Universo.

Atualmente em vigor, a BNCC² propõe em nível médio, um aprofundamento na temática "Vida, Terra e Cosmos" como resultado da articulação das unidades temáticas "Vida e Evolução" e "Terra e Universo" a serem desenvolvidas no Ensino Fundamental. De acordo com a Base Nacional, os estudantes devem analisar a complexidade dos processos relativos à origem e evolução da vida, do planeta, das estrelas e do Cosmos, bem como a dinâmica de suas interações (BRASIL, 2017).

¹ Parâmetros Curriculares Nacionais – Diretrizes educacionais elaboradas pelo Governo Federal.

² Base Nacional Comum Curricular – Documento de caráter normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais.

Com base no exposto e no potencial pedagógico da Sequência Didática (SD) como ferramenta importante no processo ensino-aprendizagem é que se propõe a utilização da SD como recurso na formação inicial e continuada de professores da Educação Básica, com o propósito de auxiliar na instrumentalização dos mesmos para utilização de recursos pedagogicamente adequados para o ensino de conteúdos específicos de Astronomia.

1.1. REVISÃO SOBRE ATIVIDADES E SOFTWARES ENVOLVENDO ESPECTROSCOPIA NO ENSINO DE ASTRONOMIA

Existe material prévio disponível não apenas no tocante a atividades desenvolvidas, mas também em relação a softwares específicos elaborados para o estudo e ensino de espectroscopia em Astronomia, com foco em estrelas e seus respectivos tipos espectrais.

Um desses materiais que pode ser utilizado para a classificação de tipos estelares é a página de divulgação do Grande Levantamento Astronômico SDSS³ (*Sloan Digital Sky Survey*). No sítio do levantamento estão disponíveis alguns projetos destinados a estudantes e professores que queiram estudar diversos temas relacionados à Astronomia. Cada projeto consiste de diversas questões e exercícios que terminam com um desafio de pesquisa. Um desses projetos visa estudar tipos de estrelas, nele o estudante/professor descobrirá uma forma de organizar estrelas em algumas categorias e aprender o que significa cada uma delas.

Outro material disponível e provavelmente o mais completo dentre eles, é o CLEA⁴ que consiste de uma série de simulações de observações de imagens, fotometria e espectroscopia astronômica, na forma de exercícios para ilustrar as técnicas modernas. O projeto CLEA disponibiliza por meio do VIREO (Observatório Virtual Educacional) várias atividades de laboratório virtual, entre elas o *The Classification of Stellar Spectra*, programa que consiste de duas partes e utilizado no âmbito desse projeto.

3 Disponível em: <http://cas.sdss.org/dr7/pt/proj/basic/spectraltypes/lines.asp>.

4 Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy, Gettysburg College. Para maiores detalhes ver <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>

A primeira parte é uma ferramenta de exibição e classificação de espectros. Tal ferramenta permite exibir um espectro de uma estrela, e compará-lo com o espectro de estrelas padrão de tipos espectrais conhecidos. A ferramenta facilita a obtenção dos comprimentos de onda e intensidades das linhas espectrais, fornece uma lista dos comprimentos de onda, de linhas espectrais conhecidas para ajudar ao usuário a identificar características espectrais e associá-las a elementos químicos específicos.

A segunda parte do programa de computador é uma simulação realista de um espectrômetro astronômico ligado a um dos três telescópios de pesquisa. A partir dele o usuário pode utilizar o telescópio para obter espectros para uma lista de estrelas e compará-los com os espectros de estrelas padrão armazenados no computador.

Outras atividades estão disponíveis no CLEA e tratam de conteúdos específicos de Astronomia, tais como: Radio astronomia de pulsares; Astrometria de asteróides; A relação distância versus *redshift*; Revolução das Luas de Júpiter; Fotometria fotoelétrica das Plêiades; Medidas da taxa de revolução de Mercúrio com radares; Estrutura em grande escala do Universo; O fluxo de energia proveniente do Sol e O período de rotação do Sol, entre outras. Todas elas possuem softwares específicos para execução e acompanham roteiros de aplicação.

Outros materiais de divulgação disponibilizam roteiros de atividades envolvendo espectroscopia em Astronomia, a exemplo da página do ANTF⁵. Trata-se de um material sobre astrofísica estelar que visa ensinar ao estudante como coletamos e analisamos informações do espaço, a partir de seis temas: Observações; Astrometria; Espectroscopia; Fotometria; Estrelas binárias e variáveis e A vida e morte de estrelas.

O NAAP⁶ (*Nebraska Astronomy Applet Project*) fornece laboratórios on-line direcionados ao público de Iniciação Científica em Astronomia. Cada laboratório consiste em materiais de base e um ou mais simuladores que os alunos usam enquanto trabalham em um guia do aluno. Pré-testes e pós-testes podem ser usados para avaliar o aprendizado dos alunos. Diversos tópicos de Astronomia

⁵ Australia Telescope National Facility. Para maiores detalhes ver:
<https://www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/spectrographs.html>.

⁶ Do Astronomy Education at the University of Nebraska-Lincoln. Disponível em:
https://astro.unl.edu/naap/hr/hr_background1.html.

podem ser abordados nas atividades disponíveis: Modelos de “sistemas solares”; Coordenadas básicas e estações; Movimentos do Sol; Simulador de órbita planetária; Simulador de fase lunar; Curvas de corpo negro e filtros *UBV*; Níveis de energia do hidrogênio; Diagrama de Hertzsprung-Russell; Eclipse de estrelas binárias; Retenção atmosférica Planetas extrasolares; Fotometria de estrelas variáveis; Escada de distância cósmica e Zonas Habitáveis.

O aplicativo Spectrix⁷ é uma ferramenta auxiliar para análise de espectros em um laboratório virtual. O programa faz parte do material de apoio de laboratório, que contempla atividades para estudo de vários temas, como: processos de radiação astrofísica; espectros astrofísicos; cosmologia; introdução às galáxias e estrutura evolução estelar.

Além disso, podemos destacar ainda alguns trabalhos de pesquisa voltados para o estudo de conteúdos específicos de Astronomia (como a espectroscopia) no Ensino Médio, assim como: o Guia de estudos⁸ “Astrofísica estelar para o Ensino Médio” proposto por Tasso A. Napoleão. Trata-se de um material de apoio ao estudo de tópicos específicos de Astrofísica que vão desde a natureza da luz às estrelas variáveis e que assim como nossa proposta, se utiliza diversos recursos tecnológicos disponibilizados gratuitamente na internet. Contudo, em nosso trabalho destacamos a inserção de atividades autorais que podem ser aplicadas em sequência ou separadamente a depender do contexto em que estejam inseridas, bem como a aplicação das mesmas.

⁷ Do Department of Astronomy at the Stockholm University. Disponível em: https://www.astro.su.se/polopoly_fs/1.51923.1321004749!/spectra.pdf.

⁸ Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~guia/Astrofisica-Estelar-para-o-Ensino-Medio-Capitulo-11.pdf>.

1.2. OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo geral investigar as contribuições de uma Sequência Didática para a identificação e classificação de estrelas de diferentes tipos no Programa MPAstro/UEFS⁹. Os participantes desta pesquisa foram os alunos que cursaram a disciplina Astronomia Extragaláctica no âmbito do MPAstro/UEFS, todos atuantes como professores na Educação Básica e formados em diversas áreas do conhecimento (Física, Matemática, Geografia, Engenharia). Busca-se contribuir favoravelmente para a compreensão da relação existente entre as principais características físicas de uma estrela (cor, tamanho, brilho) e sua constituição química, além de apresentar a Sequência *Espectrando*, como uma importante alternativa didática para o professor no processo de ensino-aprendizagem de temas relacionados à Astronomia.

Assim, os objetivos específicos desse trabalho são: i) construir uma Sequência Didática utilizando atividade do CLEA e programa computacional para o estudo das características físico-químicas de estrelas; ii) instrumentalizar um grupo de professores para utilização de recursos didáticos pedagogicamente adequados para o ensino de conteúdos específicos de Astronomia; iii) motivar os professores a repensar a forma como os conteúdos de Astronomia são abordados em sala de aula e iv) fomentar a utilização de novas estratégias e metodologias no processo de ensino-aprendizagem de conteúdos de Astronomia na Educação Básica.

⁹ Programa de Pós-graduação Stricto Sensu Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia – Universidade Estadual de Feira de Santana (BA).

1.3. ASPECTOS DE ORIGINALIDADE DO TRABALHO

Após uma revisão bibliográfica verificamos que existem disponíveis na literatura alguns trabalhos que contemplam propostas de atividades de intervenção em sala de aula que tratam diretamente de espectroscopia aplicada à Astronomia, destinados ao Ensino Fundamental e ao Ensino Médio (GOETTENS, 2017; ROSA, 2019; SANTOS, 2019; entre outros). No entanto, escassas são as propostas que se utilizam desses conteúdos como ferramenta para o estudo de classificação de estrelas. Além disso, observa-se que raras são as propostas que visam atender aos estudantes do Ensino Superior, seja na condição de alunos como público para aplicação das atividades, ou mesmo na condição de formadores como potenciais aplicadores de tais propostas.

Sendo assim, estamos convencidos do potencial pedagógico da proposta apresentada nesse trabalho, pois a nossa sequência de atividades foi intencionalmente organizada com o intuito de promover experiências que mobilizem diferentes habilidades no estudo de espectroscopia para classificação de estrelas. Embora tenha sido originalmente experimentada por um grupo de professores em formação, ela pode ser facilmente adaptada a outros contextos, a depender dos objetivos estabelecidos por cada aplicador.

Com as atividades integrantes desse trabalho temos a intenção de desenvolver algumas competências no universo ao qual se destina, como: a percepção da espectroscopia como técnica fundamental para o estudo das propriedades físicas das estrelas; a compreensão sobre o funcionamento de um espectroscópio; o entendimento da relação existente entre os espectros produzidos pelas estrelas e suas características físico-químicas; a compreensão e uso do sistema de classificação espectral de Harvard para determinação o tipo espectral de uma estrela e a localização de uma estrela num Diagrama HR.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A Dissertação está estruturada de maneira. No Capítulo 2 trataremos de forma sucinta sobre a importância da técnica da espectroscopia para estudar as principais características físico-químicas das estrelas, para isso será feito um breve histórico sobre a invenção e aprimoramento dessa técnica; trataremos da formação das linhas espectrais observadas nos espectros estelares, seguida de uma abordagem sobre sequência espectral e classificação estelar.

No Capítulo 3 apresentaremos a proposta da Sequência Didática *Espectrando*, especificando sua metodologia e descrevendo as suas atividades integradoras. Relataremos com detalhes as atividades desenvolvidas e aplicadas nos três encontros realizados com a turma de estudantes.

No Capítulo 4 avaliaremos nossa proposta por meio dos resultados obtidos com as atividades aplicadas, a partir de uma discussão qualitativa e quantitativa dos mesmos e do desempenho da turma de maneira geral. Finalmente, no Capítulo 5 apresentaremos as conclusões e perspectivas desse trabalho.

CAPÍTULO 2 – A ESPECTROSCOPIA COMO TÉCNICA PARA ESTUDO DE ESTRELAS

Na Astronomia quase toda a informação que obtemos direta ou indiretamente sobre corpos celestes se originam da radiação que esses corpos emitem. Dessa forma, o estudo do espectro da radiação eletromagnética nos permite determinar muitas propriedades de estrelas, galáxias, e demais objetos astronômicos, tais como: temperatura, tamanho, distância, densidade e composições.

A espectroscopia como técnica que estuda a radiação a partir da decomposição nos seus comprimentos de onda, a partir de suas cores componentes, que se observa, por exemplo, quando a luz se propaga através de um prisma ou uma rede de difração, é uma das principais responsáveis por nos apresentar o universo como o enxergamos hoje.

Nesse capítulo serão abordados de forma resumida os aspectos teóricos da espectroscopia, bem como o histórico do desenvolvimento do conhecimento na área e o seu uso na classificação estelar. As principais referências usadas para a escrita do capítulo foram baseadas nas obras Kepler & Saraiva (1994) e Maciel (1997).

2.1 - HISTÓRICO

Podemos associar o nascimento da espectroscopia à experiência relatada por Isaac Newton, quando (em 1665-66) fez um feixe de luz solar atravessar um prisma (Figura 2.1), observando o fenômeno da dispersão luminosa da luz branca, experiência minuciosamente descrita por ele em carta¹⁰ enviada à *Royal Society*.

Newton mencionou que não foi o primeiro a observar as cores produzidas por um prisma, esse já era um fenômeno conhecido e estudado por outros filósofos naturais e apresentados em tratados óticos, como: René Descartes (*La Dioptrique*), Robert Boyle (*Experiments and considerations touching colours*), Francesco Grimadi

¹⁰ Publicação enviada em 1672 descrevendo a decomposição da luz em raios de várias cores através de um prisma. Para acessar a íntegra: royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1672.0030.

(*Physico-Mathesis de lumine*) e Robert Hooke (*Micrographia*). Contudo, esses estudos não tinham caráter matemático e geométrico (SILVA; MARTINS, 1996).



Figura 2.1: Representação artística da experiência de dispersão luminosa realizada por Isaac Newton.
Fonte: Apic/ Getty Image.

A partir da experiência de Newton, muitas outras contribuições tornaram possível a evolução dessa técnica. Entre elas, destacamos a iniciativa de William Herschel, que realizou experimentos que são considerados hoje como a “descoberta” da radiação infravermelha (HERSCHEL, 1800). Ele observou que na decomposição do espectro da luz solar, a região após o vermelho é a que parece provocar maiores alterações de temperatura. Esse episódio histórico o levou à conjectura da existência dos “raios invisíveis” e passou por diversas interpretações até que chegássemos a compreensão dos mesmos. Hoje compreendemos o infravermelho como um tipo de radiação eletromagnética que apresenta comprimento de onda entre 700 nm e 50.000 nm e frequência menor que a da luz vermelha, portanto fora do espectro eletromagnético visível.

Em 1820, o fabricante de instrumentos de vidro Joseph Von Fraunhofer usou extensivamente a grade de difração para dispersar com maior eficiência a luz solar e em virtude disso, se tornou o primeiro a estudar as linhas escuras do espectro solar, aparentemente contínuo para Isaac Newton. Contou mais de 570 linhas escuras,

chamadas posteriormente de Linhas de Fraunhofer (Figura 2.2). Para 324 destas linhas, Fraunhofer deu o nome de letras maiúsculas para as mais fortes (A, B, C..) e letras minúsculas para as mais fracas, começando com A no vermelho.

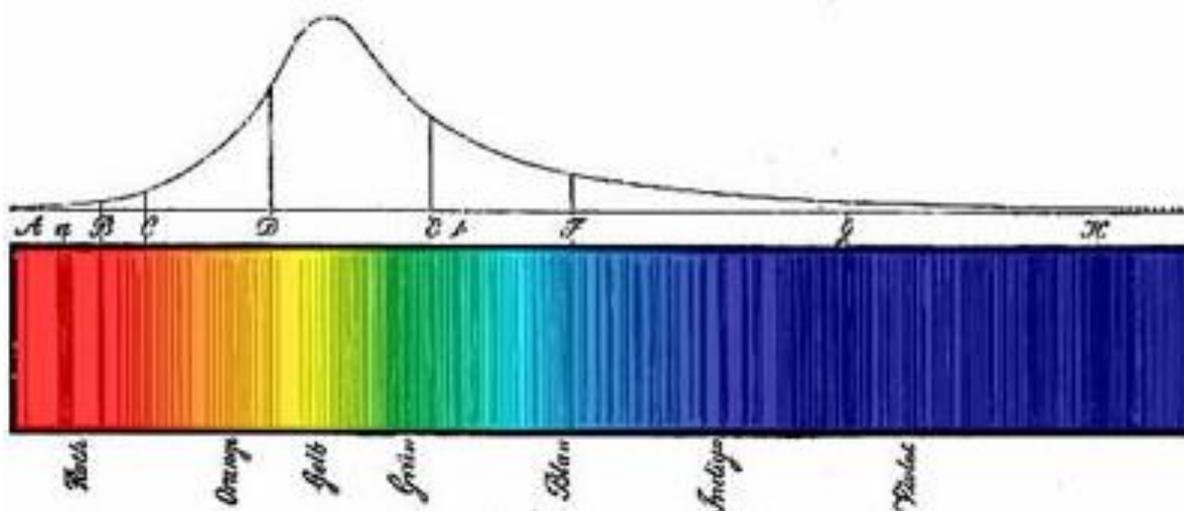


Figura 2.2: Linhas de Fraunhofer do espectro solar.

Fonte: *Denkschriften der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu München*, 1814.

Em 1856, Gustav Kirchhoff e Robert Bunsen descobriram que cada elemento químico gerava uma série de linhas diferentes (KEPLER & SARAIVA, 1994). Fizeram isso, a partir da invenção de Bunsen de um bico a gás cuja principal vantagem era a de ter uma chama incolor, o que evitava a visualização equivocada em relação à cor emitida por um elemento em combustão. Isso porque, a cor visualizada durante a queima seria a cor emitida pelo próprio elemento e não pela chama do bico. As experiências desenvolvidas por Kirchhoff o levaram à formulação de três leis empíricas, chamadas Leis de Kirchhoff.

2.1.1. Leis de Kirchhoff

Baseando-se em suas observações, Kirchhoff estabeleceu:

a) Um corpo opaco quente, seja ele sólido, líquido ou gasoso, emite um espectro contínuo, a exemplo do filamento de uma lâmpada incandescente (Figura 2.3).



Figura 2.3: Representação de um espectro contínuo. Fonte: Kepler & Saraiva (1994).

b) Um gás transparente (pouco denso) produz um espectro com linhas brilhantes em emissão (Figura 2.4). A quantidade de linhas e a posição delas dependem dos elementos químicos que estão presentes no gás. Por exemplo, o gás contido em uma lâmpada fluorescente.

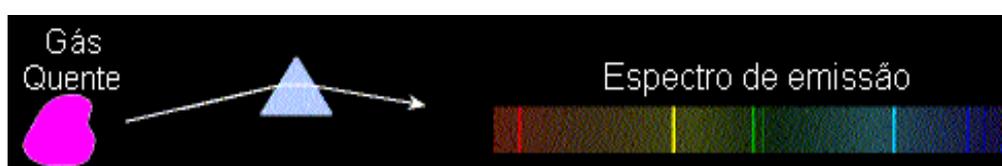


Figura 2.4: Representação de um espectro com linhas em emissão. Fonte: Kepler & Saraiva (1994).

c) Caso um espectro contínuo passe por um gás com uma temperatura mais baixa, o gás frio provocará o aparecimento de linhas escuras em absorção (Figura 2.5). Da mesma forma que para as linhas em emissão, a quantidade e a posição das linhas escuras dependerão dos elementos químicos que compõe o gás frio, como por exemplo, o Sol e a sua atmosfera.



Figura 2.5: Representação de um espectro com linhas em absorção. Fonte: Kepler & Saraiva (1994).

Kirchhoff concluiu que o Sol era um gás ou sólido quente, envolto num gás frio responsável por produzir as linhas escuras que se apresentam no espectro solar.

2.2 – A FORMAÇÃO DAS LINHAS ESPECTRAIS

As linhas espectrais observadas por Kirchhoff, Bunsen e tantos outros são resultados das transições possíveis entre os diversos estados quânticos dos elementos químicos do material, fenômeno explicado a partir do desenvolvimento da Mecânica Quântica. Em 1900, o físico alemão Max Karl Ernest Ludwig Planck, no estudo da radiação do Corpo Negro¹¹, postulou o conceito da quantização da energia, segundo o qual a matéria emite radiação em “pacotes de energia”. Essa ideia foi usada por Albert Einstein, em 1905, quando assumiu que cada “pacote” (quantum) de luz, ou fóton, tem uma energia bem definida, dada por:

$$E = h\nu \quad (1)$$

na qual h é a constante de Planck, cujo valor é aproximadamente igual a $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s e ν é a frequência do fóton.

Aplicando a ideia de quantização, o físico Niels Bohr, em 1913, propôs uma alteração no modelo atômico de Rutherford. Tal modelo havia sido sugerido a partir de uma comunicação na *Manchester Literary and Philosophical Society* em 1911. Nele, o físico neozelandês Ernest Rutherford sugere um átomo com a seguinte estrutura: “...um átomo que contém uma carga elétrica $\pm Ne$ no seu centro rodeada por uma esfera eletrificada de carga $-Ne$ (ou $+Ne$) uniformemente distribuída numa esfera de raio R , em que e é a unidade fundamental de carga e N a carga central do átomo.”

Assim, de acordo com o modelo proposto por Rutherford, os elétrons podiam orbitar qualquer região da eletrosfera do átomo. Para Bohr, os elétrons só podiam ocupar órbitas bem definidas, cada uma com nível energético particular. Neste modelo o momento angular é quantizado e determina a energia de cada órbita.

O fato do elétron apenas poder ocupar órbitas bem definidas, implica ao elétron a necessidade de absorver ou emitir quantidades de energia específicas em cada transição eletrônica. Isso porque, cada nível quântico tem uma energia específica e para um elétron “saltar” de um estado quântico para outro estado quântico de maior

¹¹ Corpo negro é definido como um meio ou substância que absorve toda energia incidente sobre ele, nenhuma parte da radiação incidente é refletida ou transmitida. É uma classe de corpos que emite um espectro de caráter universal, ou seja, independente do material e da forma do corpo, dependente apenas da temperatura.

energia é necessária a absorção de fóton com energia exatamente igual à diferença entre os dois níveis de energia. Essa transição provoca a formação de uma linha de absorção com comprimento de onda correspondente ao fóton absorvido.

Do mesmo modo, para transitar de um estado quântico para outro menos energético, o elétron deverá emitir um fóton de luz de energia exatamente igual à diferença entre os dois níveis de energia, formando então uma linha de emissão com mesmo comprimento de onda (Figura 2.6).

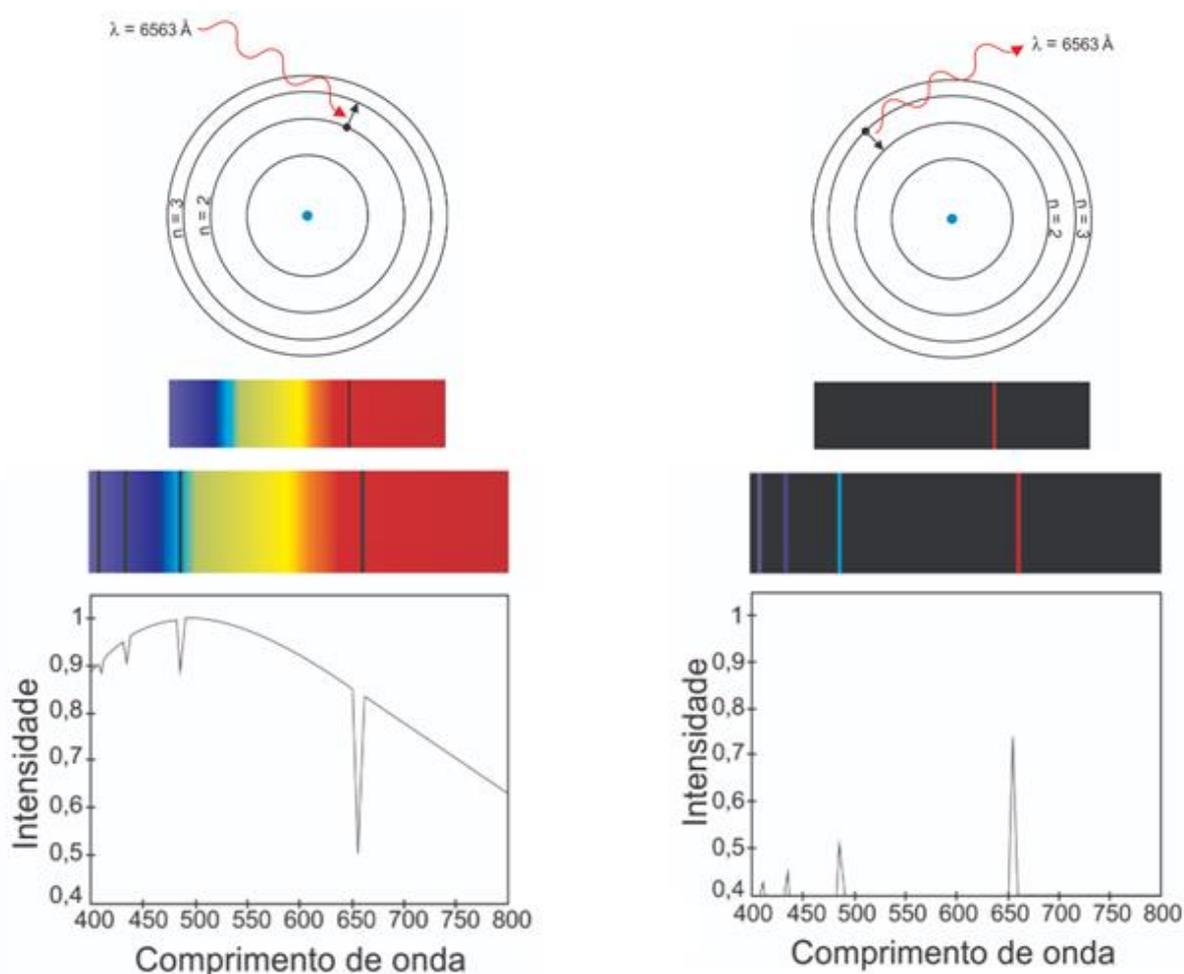


Figura 2.6: Formação das linhas em absorção e em emissão devido às transições eletrônicas.
Fonte: Kepler & Saraiva, 1994.

A largura energética ΔE natural (devido à emissão espontânea) de uma linha espectral atômica é dada pelo “tempo de vida” τ do elétron em estado excitado, conforme o princípio da incerteza de Heisenberg; ao considerar um átomo em um estado excitado, o período de tempo $\Delta t = \tau$ em média, em que ele permanece excitado,

está relacionado com a largura ou incerteza ΔE na energia desse estado: quanto menor for o tempo de permanência τ , mais larga será a banda energética ΔE e quanto maior for τ , mais estreita será a banda ΔE (VALVERDE et al, 2016).

Assim, podemos concluir que os átomos absorvem e emitem fótons com comprimentos de onda que lhes são característicos. Dessa forma, a análise do espectro de um corpo celeste, a exemplo de uma estrela, permite determinar a sua composição.

As estrelas emitem radiação de forma parecida com a de corpos negros. A Radiação de Corpo Negro depende apenas da temperatura do corpo, seguindo as leis de Stefan-Boltzmann, de Wien e de Planck. A irradiância monocromática emitida por um corpo negro é descrita pela Lei de Planck (Equação 2) e mostrada na Figura 2.7 a seguir.

$$B_{\lambda}(T) = (2hc^2/\lambda^5)(1/(e^{hc/\lambda kT} - 1)) \quad (2)$$

na qual $B_{\lambda}(T)$ é a intensidade específica monocromática do corpo negro de temperatura T ; c é a velocidade da luz e k é a constante de Boltzmann, aproximadamente de $1,38 \cdot 10^{-23}$ J.K.

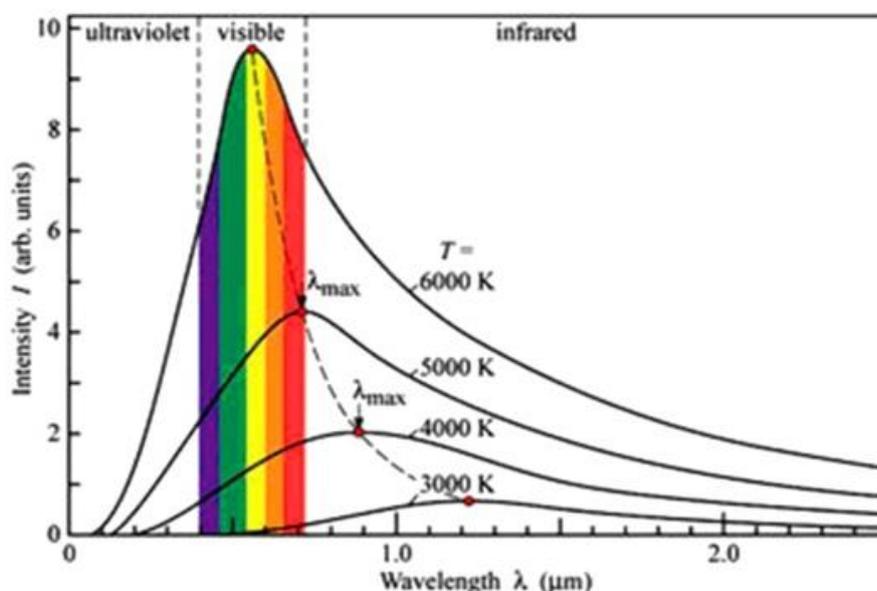


Figura 2.7: Irradiância de um corpo negro para várias temperaturas. Fonte: www.iag.usp.br.

Na Figura 2.7 observamos gráficos de irradiância em função de comprimentos de onda para várias temperaturas de 3.000 a 6.000 K. O comprimento de onda do pico de emissão para um corpo negro com temperatura T é dado pela Lei de Wien:

$$\lambda_{\max} = 2,9 \cdot 10^7 / T \quad (3)$$

na qual λ_{\max} é o comprimento de onda de intensidade máxima em Angstrom e T a temperatura em Kelvin.

Com a Lei de Wien é possível estimar a temperatura de uma fonte a partir do seu espectro. De acordo com ela, o comprimento de onda de intensidade máxima é menor quando a temperatura do objeto é mais quente, ou seja, λ_{\max} e T são inversamente proporcionais. Dessa forma, pode-se observar um deslocamento do pico de intensidade máxima em função da temperatura nos espectros de corpos aquecidos (inclusive estrelas).

É possível medir o comprimento e a intensidade das ondas eletromagnéticas que compõem a radiação que está sendo emitida por um corpo aquecido e a partir disso, construir seu espectro. Hoje já se sabe que todo corpo superaquecido emite uma radiação que, ao menos em parte, está na região do visível.

A Figura 2.8 mostra alguns espectros de estrelas de temperaturas distintas. Nela, fica evidente o deslocamento do pico de intensidade máxima para esquerda à medida que a temperatura da estrela é maior.

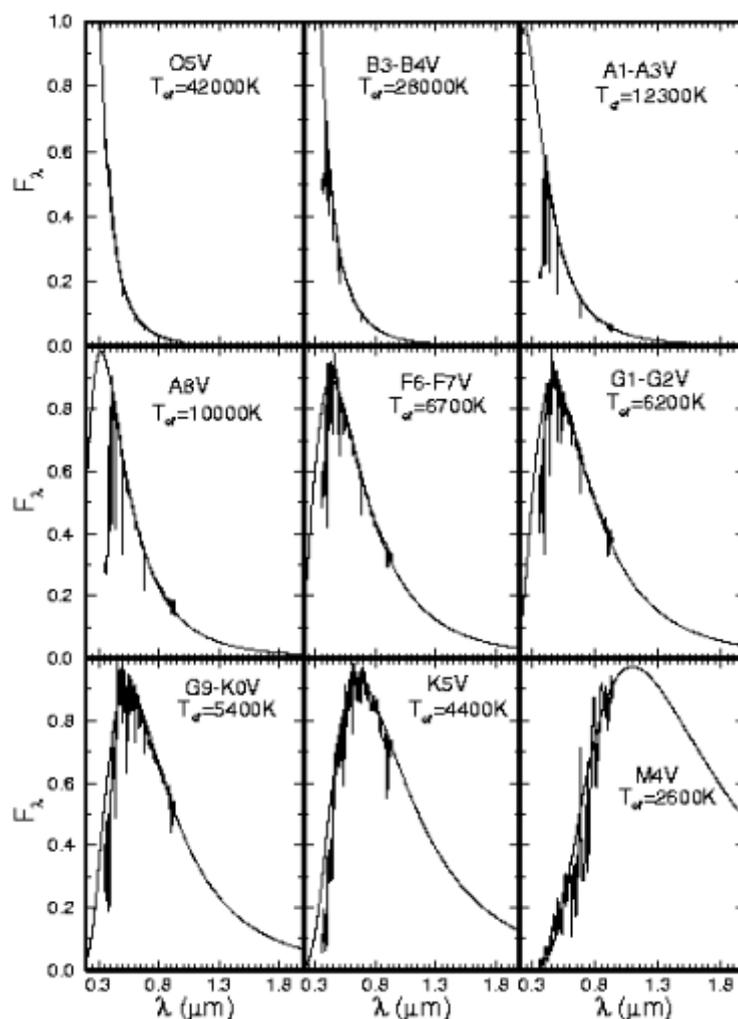


Figura 2.8: Ilustração do deslocamento do pico de intensidade máxima do espectro de algumas estrelas em função da temperatura. Fonte: Kepler & Saraiva, 2018.

2.3 – A SEQUÊNCIA ESPECTRAL E CLASSIFICAÇÃO ESTELAR

O espectro de uma estrela apresenta linhas escuras (em absorção), que estão associadas aos elementos químicos presentes na atmosfera da estrela. Podemos imaginar inicialmente que estrelas com diferentes linhas espectrais representam estrelas com composições químicas diferentes. No entanto, sabe-se hoje que a composição química das estrelas de maneira geral é similar. A Figura 2.9 mostra a abundância dos elementos químicos presentes nas fotosferas das estrelas.

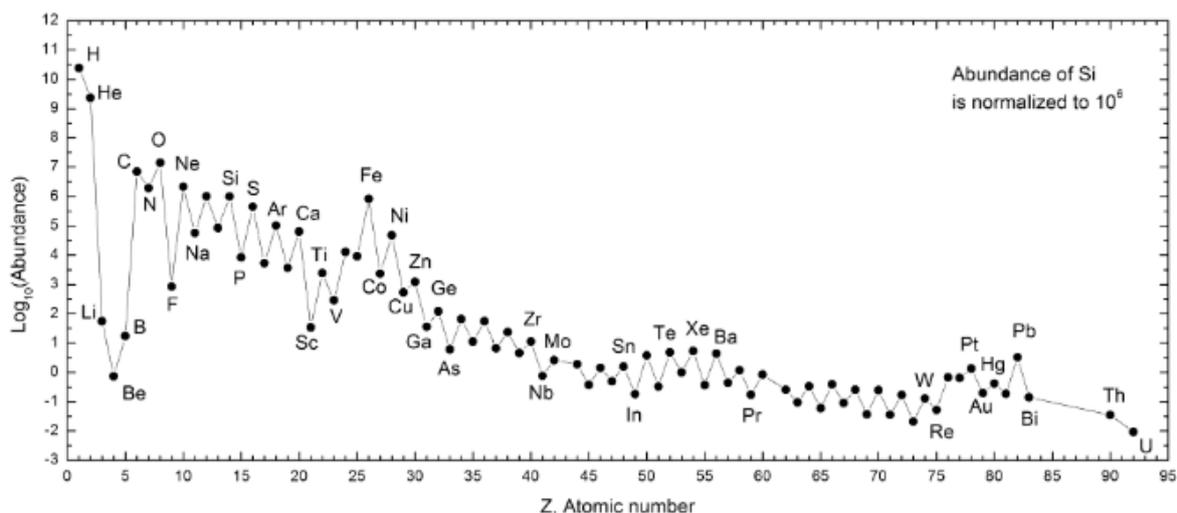


Figura 2.9: Abundância dos elementos químicos encontrados nas fotosferas das estrelas em função do número atômico. Fonte: Wikipédia.

Nota-se que o Hidrogênio é o elemento químico mais abundante no Universo, cerca de 73%, posteriormente, o Hélio com abundância de 23% (MACIEL, 2004). Todos os outros elementos contribuem juntos com cerca de 1% ou 2% da composição das estrelas e são chamados pelos astrônomos de metais.

O fato do Hidrogênio ser o elemento mais abundante não significa que as linhas em absorção associadas a ele nos espectros estelares apareçam da mesma forma.

Na Figura 2.10 observamos a diferença na intensidade e na largura das linhas escuras formadas pela presença do Hidrogênio nos espectros de diferentes estrelas. As linhas designadas por $H\alpha$, $H\beta$, $H\delta$, etc, aparecem nas mesmas posições por representarem o mesmo elemento químico, formando assim a “identidade digital” do elemento, no entanto, suas intensidades são visivelmente diferentes.

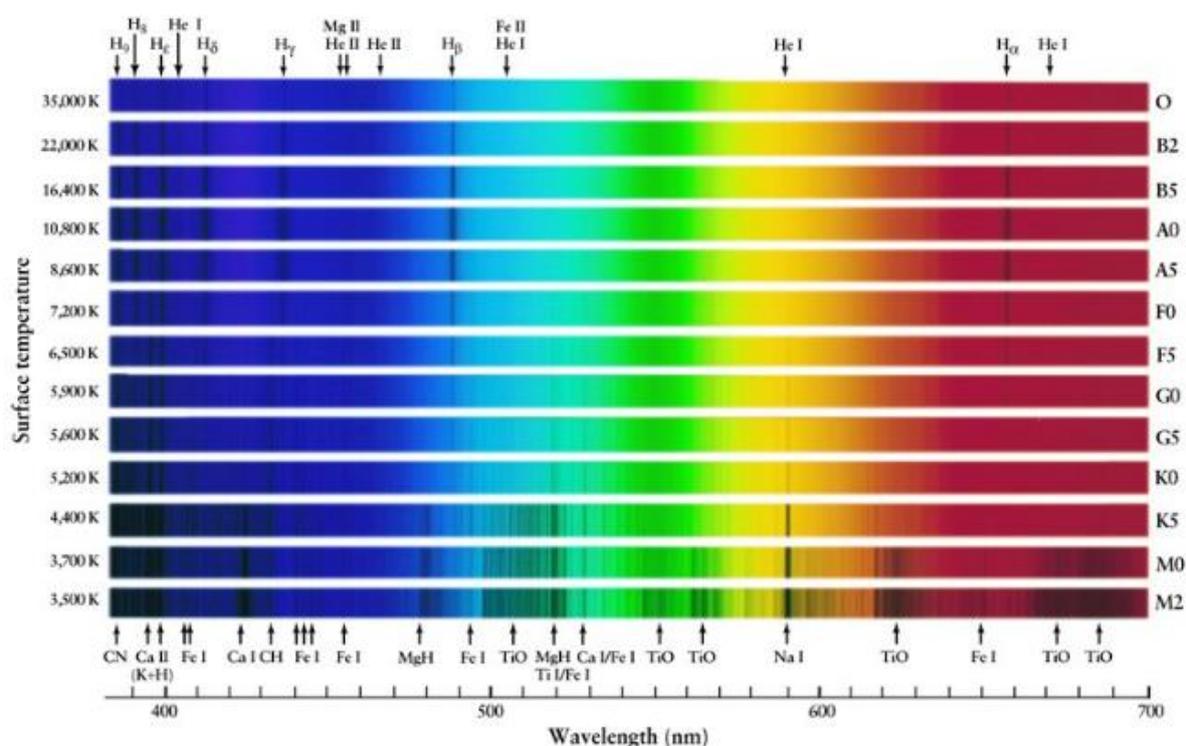


Figura 2.10: Ilustração dos espectros de 13 estrelas diferentes. No ordenada, no lado esquerdo são apresentadas as faixas de temperatura e no direito os respectivos tipos espectrais. Na abscissa são apresentados tanto na parte inferior quanto na parte superior os valores de algumas linhas.

Fonte: U. Alberta.

A intensidade das linhas espectrais permite deduzir a temperatura da fotosfera da estrela. Essa faixa espectral abre caminho para uma tentativa de classificação, que contempla os mais variados tipos de espectros já encontrados. Enquanto a formação das linhas espectrais ainda não era bem compreendida, algumas tentativas de classificação estelar foram realizadas a partir da intensidade das linhas de absorção do hidrogênio. O padre italiano Ângelo Secchi fez algumas tentativas de estabelecer uma classificação para as estrelas trabalhando no Observatório do Vaticano, chegando a classificar os espectros de cerca de quatro mil estrelas.

Em 1868, Secchi propôs uma classificação baseada em quatro tipos de espectros: o *Tipo I*, que correspondia às estrelas brancas e apresentava linhas fortes de hidrogênio; o *Tipo II*, que correspondia às estrelas amarelas, com linhas fortes de metais; o *Tipo III*, que correspondia às estrelas vermelhas, que apresentavam conjuntos de linhas finas e o *Tipo IV*, composto por estrelas vermelhas raras, cujo espectro apresentava linhas de carbono.

Outras tentativas sucederam a do padre italiano, como as realizadas por Hermann Vogel¹² e Norman Lockyer¹³, no entanto a primeira sequência a ser adotada internacionalmente foi elaborada por uma equipe de astrônomas lideradas pelo diretor do Harvard College Observatory, o astrônomo americano Edward Pickering (1846-1919).

2.3.1. Classificação de Harvard

Em 1876 Pickering foi nomeado professor de Astronomia e diretor do Harvard College Observatory. Desde então, iniciou um ambicioso programa de fotografia celeste. Segundo Mannarino (2011), decepcionado com a falta de concentração e incapacidade dos homens para dar atenção aos detalhes, Pickering decidiu substituí-los por uma numerosa equipe de mulheres que ficaram posteriormente conhecidas como “As Calculadoras de Harvard” (Figura 2.11).

Impulsionado pelos recursos financeiros recebidos da viúva de Henry Draper, que após a morte do marido criou o Henry Draper Memorial Fund para financiar investigações espectroscópicas, Pickering empregou cerca de 80 mulheres, entre 1885 e 1927, que estudavam fotografias de estrelas em chapas de vidro. Elas observaram vários tipos de objetos e elaboraram métodos para medir distâncias, antes mesmo que as mulheres americanas ganhassem direito ao voto (NEWMAN, 2017).

¹²Hermann Karl Vogel, astrônomo alemão (1841-1907) pioneiro no uso da espectroscopia na Astronomia, descobriu Algol, uma estrela binária, por interpretação do efeito Doppler.

¹³ Sir Joseph Norman Lockyer, astrônomo britânico (1836 – 1920), em 1868 descobriu o elemento Hélio na superfície do Sol.



Figura 2.11: Algumas das “calculadoras” de Pickering, em 1918. Da esquerda para a direita: Ida Woods, Eva Leland, Florence Cushman, Grace Brooks, Hannah, Henrietta Leavitt, Mollie O'Reilly, Mabel Gill, Alta Carpenter, Annie Jump Cannon, Dorothy Black, Arville Walker, Mr. Hinckley e Prof. King.
Fonte: Harvard College Observatory

A equipe de Harvard sugeriu um sistema de classificação estelar baseando-se no trabalho iniciado por Henry Draper¹⁴, que se tornou conhecido como Classificação Draper. Entre 1918 e 1924, o sistema de classificação foi modificado pela genial Annie Jump Cannon¹⁵, que notou a temperatura como sendo a característica mais importante para agrupar estrelas. Dessa forma, ela simplificou drasticamente o esquema anterior.

Cannon propôs uma classificação a partir de sete tipos espectrais organizados em ordem decrescente de temperatura e denominados pelas letras *O*, *B*, *A*, *F*, *G*, *K* e *M*. A Tabela 2.1 resume as principais características de cada tipo espectral.

¹⁴ Henry Draper, astrônomo americano (1837-1882) que fez a primeira fotografia do espectro de uma estrela (Vega) e foi o primeiro a fotografar uma nebulosa (Nebulosa de Órion).

¹⁵ Annie Jump Cannon, astrônoma americana (1863-1941) que obteve e classificou espectros para mais de 225.000 estrelas.

Tabela 2.1: Principais características observadas para cada tipo espectral da Classificação de Harvard.
 Fonte: <http://www.astro.iag.usp.br>.

Tipo Esp.	Cor	T _{sup} (K)	Linhas proeminentes de absorção	Exemplos
O	Azul	30.000	He ionizado (fortes), elementos pesados ionizados (OIII, NIII, SiIV), fracas linhas de H	
B	Azulada	20.000	He neutro (moderadas), elementos pesados 1 vez ionizados	Rigel (B8)
A	Branca	10.000	He neutro (muito fracas), ionizados, H (fortes)	Vega (A0) Sirius (A1)
F	Amarelada	7.000	elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros (FeI, CaI), H (moderadas)	Canopus (F0)
G	Amarela	6.000	elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros, H (relativamente fracas)	Sol (G2) Alfa Cen (G2)
K	Laranja	4.000	elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros, H (fracas)	Arcturus (K2) Aldebaran (K5)
M	Vermelha	3.000	Átomos neutros (fortes), moleculares (moderadas), H (muito fracas)	Betelgeuse (M2)

De acordo com essa classificação, estrelas de mesmo tipo espectral possuem aproximadamente a mesma temperatura superficial e apresentam as mesmas linhas proeminentes em seus espectros. Anos mais tarde, a própria Cannon refinou seu sistema de classificação inserindo os subtipos espectrais, denotados por números de 0 a 9 em ordem decrescente de temperatura. Assim, o subtipo *O9* antecede o subtipo *B0* na classificação de Harvard.

A Classificação espectral de Harvard só leva em consideração a temperatura das estrelas. No entanto, a luminosidade de uma estrela também pode ser conhecida por meio de seu espectro. Isso porque a largura das linhas em absorção está intimamente relacionada à gravidade superficial da estrela, e se relaciona com a sua luminosidade.

Pela Lei de Stefan-Boltzmann, o fluxo na superfície de um corpo negro é proporcional à quarta potência da temperatura de um corpo.

$$F = \sigma T^4 \quad (4)$$

na qual σ é a constante de Stefan-Boltzmann e vale $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$. Enquanto a luminosidade da estrela é proporcional à sua superfície total e à quarta potência de sua temperatura efetiva.

$$L \propto 4\pi R^2 \quad (5)$$

e

$$L = \alpha T^4 \quad (6)$$

Logo:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad (7)$$

na qual, R é o raio da estrela e T a temperatura de superfície. Enquanto a aceleração gravitacional é dada por:

$$g = GM/R^2 \quad (8)$$

sendo G a constante gravitacional de valor $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3\text{Kg}^{-1}\text{s}^{-2}$ e M a massa da estrela. Quanto maior a gravidade superficial, maior o número de colisões entre as partículas na atmosfera da estrela, como efeito desse fenômeno a largura da linha espectral é alterada. Isso significa que para estrelas de mesma temperatura, quanto menor seu raio, mais alargada será a linha em absorção e vice-versa.

Em 1943, William Wilson Morgan, Philip Childs Keenan e Edith M. Kellman, do Observatório de Yerkes propuseram a introdução de seis classes de luminosidade baseadas nas larguras das linhas espectrais, tornando o sistema de classificação estelar ainda mais completo. As classes de luminosidade propostas estão apresentadas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Classes de luminosidades propostas por Morgan, Keenan e Kellman.

CLASSE	TIPO	EXEMPLO
Ia	Supergigantes super-luminosas	Rigel (<i>B8Ia</i>)
Ib	Supergigantes	Betelgeuse (<i>M2Iab</i>)
II	Gigantes luminosas	Antares (<i>MII</i>)
III	Gigantes	Aldebarã (<i>K5III</i>)
IV	Subgigantes	α Crucis (<i>B1IV</i>)
V	Anãs	Sírius (<i>A1V</i>)

2.3.2. O Diagrama HR

O trabalho de classificação da equipe do observatório de Harvard foi útil desde o início, especialmente para Hertzsprung¹⁶ cujo maior interesse era medir distâncias estelares. Ele acreditava que a classificação Draper o auxiliaria, pois provaria que as estrelas azuis eram mais luminosas que as vermelhas (salvo poucas exceções) e que a verdadeira luminosidade das outras estrelas poderia ser verificada desde que se conhecessem seus espectros.

Na segunda década do século XX, de maneira simultânea e independente propôs com o astrônomo Henry Norris Russell¹⁷, um diagrama no qual, as magnitudes absolutas (brilho intrínseco) das estrelas são plotadas contra seus tipos espectrais (temperaturas). A partir da relação existente, entre luminosidade de uma estrela e sua temperatura superficial, ambos perceberam que as estrelas não se distribuem igualmente no diagrama, se concentrando em algumas partes específicas. O diagrama ficou conhecido como Diagrama HR (Figura 2.12).

¹⁶ Ejnar Hertzsprung, astrônomo dinamarquês (1873-1967) que classificou tipos de estrelas relacionando sua cor com seu brilho absoluto.

¹⁷ Henry Norris Russell, astrônomo americano (1877-1957) desenvolveu um dos primeiros programas fotográficos de paralaxe para determinar distâncias para estrelas.

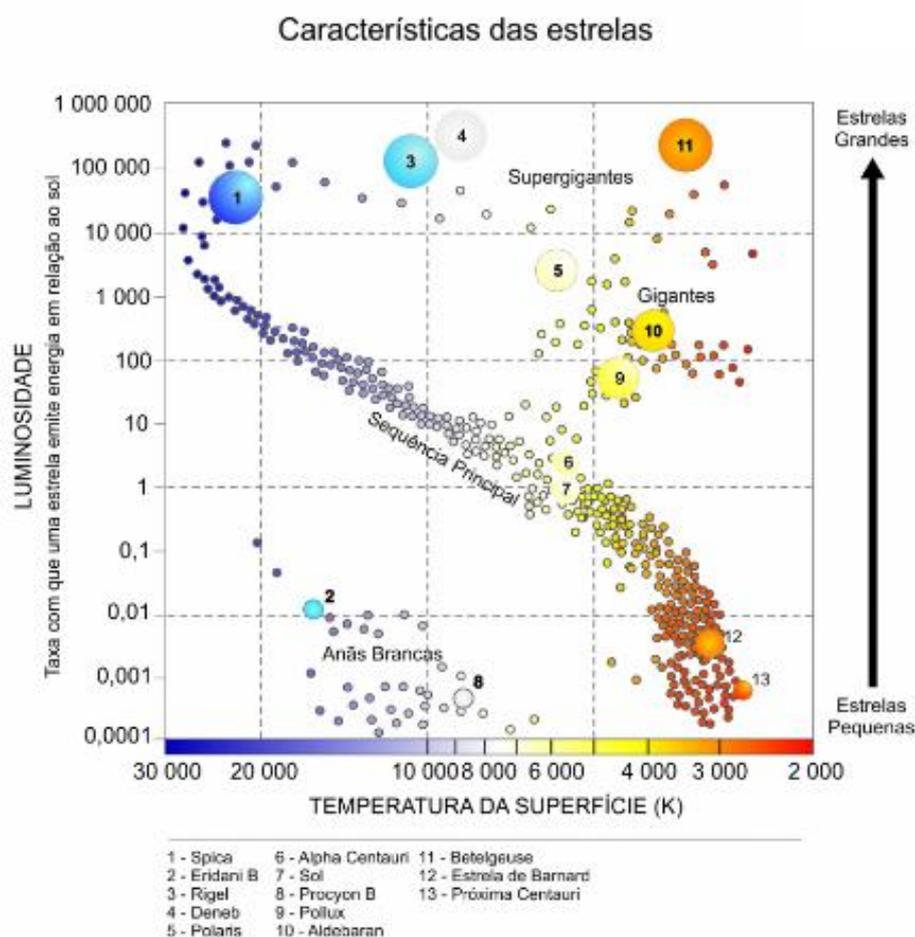


Figura 2.12: Diagrama HR com a localização de algumas estrelas conhecidas.
Fonte: Kepler & Saraiva, 1994.

O diagrama mostra que a maior parte das estrelas está alocada ao longo de uma faixa estreita diagonal que vai do extremo superior esquerdo, onde estão localizadas as estrelas mais quentes e luminosas, até o extremo inferior direito, onde encontramos as estrelas frias e pouco luminosas. A essa faixa denominamos Sequência Principal e o fator determinante para localização das estrelas nessa região é a massa. Por definição, as estrelas ali alocadas são identificadas como de classe V, e são chamadas de *anãs*.

Pode-se notar uma segunda região de concentração razoável de estrelas que está acima e à direita da sequência principal. As estrelas dispostas nessa região são vermelhas, frias e luminosas. De acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann (Equação 4), nesse caso as estrelas devem possuir um raio muito grande. Por essa razão é denominada região das *gigantes vermelhas*, pertencentes às classes de luminosidade II ou III.

Algumas outras estrelas encontram-se espalhadas no topo do diagrama, numa região de maior luminosidade. Embora a maioria seja de cor azul, algumas outras localizadas ali são da cor vermelha. São chamadas de *supergigantes*, de classe de luminosidade I.

Além disso, um quarto grupo de estrelas se concentra no lado inferior esquerdo do diagrama. Essas estrelas são quentes, porém pouco luminosas. Ainda de acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann, essa localização indica estrelas de raio pequeno. Essa é a região das *anãs brancas*.

Embora não indique uma representação espacial das estrelas, o Diagrama HR é um importante instrumento para o estudo da evolução estelar. Estrelas iniciam a sua evolução entram na Sequência Principal e têm trajetórias distintas dependendo de sua massa.

CAPÍTULO 3 – ESPECTRANDO: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ESTUDAR CLASSIFICAÇÃO ESTELAR

Nesse capítulo trataremos a Sequência Didática como importante recurso pedagógico no estudo de alguns tópicos de Astronomia; apresentaremos as atividades integrantes da Sequência Didática *Espectrando* para o estudo da classificação de estrelas, e por fim, descreveremos de maneira detalhada a metodologia utilizada para a aplicação dessas atividades com uma turma de Astronomia Extragaláctica do Programa Mestrado Profissional de Astronomia da UEFS.

3.1. A SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO INSTRUMENTO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

Alguns estudos apontam a Sequência Didática (SD) como potencial instrumento metodológico para a formação docente reflexiva (Gonçalves e Ferraz, 2016). Para Zabala (1998) a SD é *“um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos”*. Para o autor, toda prática pedagógica exige uma organização metodológica para sua execução. Ainda segundo Zabala, *“como os conceitos e princípios são temas abstratos, requerem uma compreensão do significado e, portanto, um processo de elaboração pessoal”*. Assim:

Nesse tipo de conteúdo são totalmente necessárias as diferentes condições sobre a significância da aprendizagem: atividades que possibilitem o reconhecimento dos conhecimentos prévios, que assegurem a significância e a funcionalidade, que sejam adequadas ao nível de desenvolvimento, que provoquem uma atividade mental etc. As sequências de conteúdos conceituais tem que levar em conta todas elas. (ZABALA, 1998)

Nesse trabalho de pesquisa propõe-se a utilização de uma sequência de cinco atividades intencionalmente organizadas, além de aplicação de dois questionários idênticos, os quais consistem do pré e pós-teste para o estudo das principais propriedades das estrelas, bem como para compreensão do sistema de classificação estelar utilizado atualmente.

3.2. METODOLOGIA

Elaborada para ser parte integrante de um curso de Formação Inicial e Continuada de professores que atuam na Educação Básica e no Ensino Superior, a Sequência Didática *Espectrando* intercala atividades de autoria própria e atividades já existentes que foram adaptadas e aplicadas em três encontros, descritos com mais detalhes a seguir.

Procurou-se diversificar os recursos didáticos e metodologias, inserindo atividades que mobilizassem as mais variadas habilidades dos Estudantes e que favorecessem a compreensão dos conteúdos abordados. O presente instrumento de pesquisa foi aplicado em encontros que ocorreram com intervalo de uma semana entre eles, para uma turma de 11 professores, licenciados e bacharéis em diferentes áreas e atuantes nas redes estadual e federal de Educação Básica, todos estudantes matriculados na disciplina Astronomia Extragaláctica do Programa de Pós-Graduação *Scritto Sensu* Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana (Bahia). O que significa que todos eles já iniciaram o estudo de conceitos básicos de Astronomia.

As atividades da SD foram planejadas levando em consideração o perfil da turma. É importante que sejam readequadas ao público alvo no caso de uma possível reaplicação, considerando fatores como o tempo disponível, a formação específica dos estudantes e a área de atuação profissional dos mesmos.

Durante a aplicação e avaliação dos resultados da SD cada aluno foi denominado pela expressão “Estudante” seguida de um número: Estudante 1; Estudante 2; Estudante 3 e sucessivamente até o Estudante 11. Para avaliação da SD foram consideradas todas as informações expressas pelos estudantes em todas as atividades desde o questionário do pré-teste até o questionário do pós-teste.

Trata-se de uma pesquisa aplicada, de natureza exploratória, onde as informações obtidas a partir da aplicação das atividades foram avaliadas em caráter qualitativo e quantitativo.

A Figura 3.1 apresenta um esquema das atividades envolvidas na SD, as quais buscaram contemplar os principais tópicos relacionados à classificação espectral de estrelas, desde a espectroscopia ao estudo da distribuição de estrelas no Diagrama HR, as quais consistiram da utilização de recursos computacionais, com o uso de

softwares e atividades pré-existentes, ou o seu uso com informações obtidas de base de dados astronômicas. Atividades impressas em papel sulfite também foram elaboradas. Nas próximas seções serão apresentados os detalhamentos da metodologia adotada e a descrição das atividades.



Figura 3.1. Esquema representativo das atividades integrantes da Sequência Didática *Espectrando*.

A SD “Espectrando” é composta por cinco atividades, além dos instrumentos avaliativos pré e pós-teste, e tem como tema principal a espectroscopia como instrumento de estudo das propriedades e classificação de estrelas. Embora não abranja todos os conceitos sobre Astronomia a serem estudados na Educação Básica, trata de importantes temas de Física Moderna e se relaciona com as orientações curriculares vigentes, a exemplo das habilidades descritas pela Base Nacional Comum Curricular:

(EM13CNT201) Analisar e utilizar modelos científicos, propostos em diferentes épocas e culturas para avaliar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo.

(EM13CNT204) Elaborar explicações e previsões a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais.

(EM13CNT209) Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros)(BRASIL, 2017).

3.3. APLICAÇÃO DAS ATIVIDADES DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA *ESPECTRANDO*

As atividades da Sequência Didática proposta foram planejadas de maneira a serem aplicadas em três encontros de duas horas de duração cada. Os encontros ocorreram entre os dias 20 de setembro de 2019 e 04 de outubro de 2019, com um intervalo de uma semana entre eles, sempre no mesmo horário, nas salas do Laboratório de Física (LABOFIS) da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Conforme mencionado anteriormente, a SD “Espectrando” é composta por cinco atividades, além dos instrumentos avaliativos pré e pós-teste e tem como tema principal a espectroscopia como instrumento de estudo das propriedades e classificação das estrelas.

3.3.1. Primeiro encontro

3.3.1.1. *Atividade 1- Questionário Pré-teste*

Para o primeiro momento com a turma providenciou-se previamente as cópias impressas necessárias para o preenchimento do Termo de consentimento Livre e Esclarecido (Anexo 1) como meio de autorização de participação voluntária na pesquisa, bem como dos roteiros para realização da *Atividade 3* do Laboratório virtual do CLEA. Além dos recursos didáticos necessários para aplicação da *Atividade 2* de fundamentação teórica, tais como: projetor, notebook, lousa, marcador para quadro branco e apagador.

A primeira etapa consistiu em apresentar aos estudantes a proposta inicial, com a descrição sucinta das atividades que compõem a Sequência Didática, o propósito e os seus objetivos.

Posteriormente, os estudantes foram convidados a preencher o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido adaptado do sítio do Programa MPAstro/UEFS.

Posteriormente, iniciamos as atividades da SD propriamente dita, com a aplicação do questionário pré-teste (Apêndice 1) adaptado do roteiro da atividade do laboratório virtual do CLEA: *The Classification of Stellar Spectra*¹⁸. Nessa atividade diagnose, aqui tratada como *Atividade 1*, realizada em um intervalo de 15 minutos, os alunos respondem à perguntas relacionadas ao seu conhecimento sobre espectros de estrelas e classificação estelar (Figura 3.2).

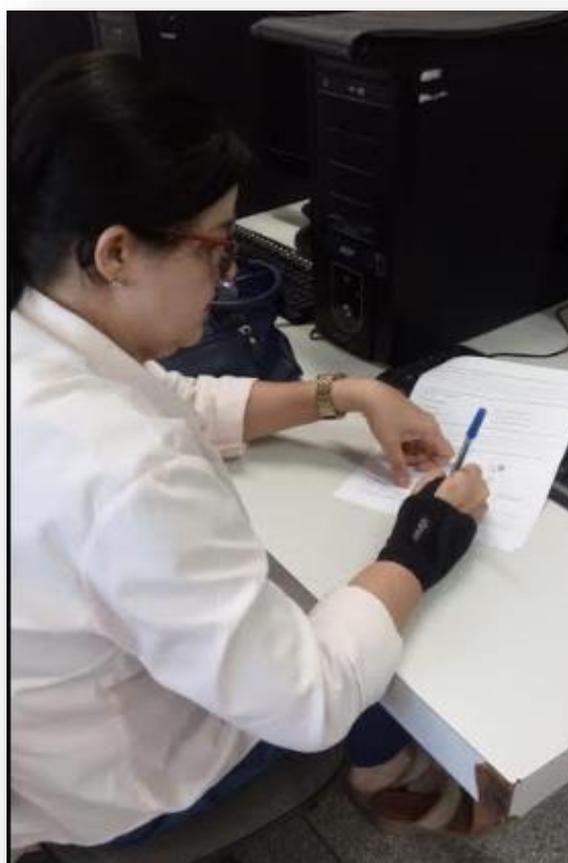


Figura 3.2. Registro de um estudante respondendo ao questionário pré-teste.

¹⁸ Disponível em: <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>.

No pré-teste também há questões relacionadas a tópicos introdutórios de espectroscopia estelar, tais como a sua relação com cores temperaturas e tipos espectrais, entre outros aspectos. O objetivo principal dessa atividade é verificar o nível de conhecimento dos estudantes a respeito de tópicos básicos referentes à espectroscopia empregada ao estudo de estrelas.

3.3.1.2. Atividade 2: Fundamentação teórica

Após a aplicação do pré-teste iniciamos a *Atividade 2* da SD com uma abordagem teórica participativa (Apêndice 2) mediada por apresentação de slides cujo principal objetivo era contextualizar e embasar teoricamente os conteúdos a serem abordados nas demais atividades integrantes da Sequência Didática.

A apresentação contou com a participação efetiva dos estudantes que estiveram livres para interagir com dúvidas e/ou contribuições acerca dos conteúdos abordados (Figura 3.3).



Figura 3.3. Esquema representativo dos conteúdos abordados durante a realização da *Atividade 2* da Sequência Didática.

Durante a apresentação (Figura 3.4), que durou cerca de 50 minutos, ficou explícito que alguns estudantes apresentavam certa familiaridade com os temas abordados enquanto para outros os conceitos apresentados eram inéditos, fato evidenciado pela natureza dos questionamentos levantados na ocasião, o que em alguns momentos desacelerou o ritmo de apresentação e aumentou o tempo inicialmente previsto para essa atividade. No entanto, as intervenções ocorridas ajudaram na percepção de quais conceitos deveriam ser tratados com mais detalhes e clareza a fim de que todos compreendessem os conteúdos abordados.



Figura 3.4. Imagem da realização da *Atividade 2* de fundamentação teórica.

3.3.1.3. *Atividade 3: Atividade de laboratório virtual do CLEA: The Classification of Stellar Spectra*

Após o término da exposição teórica deu-se início a aplicação da atividade do laboratório virtual *The Classification of Stellar Spectra*, orientada e complementada pela exposição de slides e pela utilização de roteiro adaptado (Apêndice 3) e executada pelos alunos com o uso de computadores pessoais.

Apesar de ser um software feito especialmente para ser usado no *Windows*, a nossa opção por usá-lo deve-se ao fato de que as suas atividades são de uma forma geral bem difundidas e utilizadas no ensino. Para o caso da aplicação sem o *Windows*, uma alternativa seria uma adaptação levando em conta as atividades que não são do CLEA bem como algumas atividade e *softwares*, com propósitos similares como as apresentadas no Capítulo 1 (Seção 1.1).

Para a aplicação dessa atividade traduziu-se e adaptou-se previamente o roteiro original disponível no sítio do programa a fim de adequá-lo aos objetivos dessa pesquisa. Os alunos foram previamente instruídos a baixar em seus respectivos computadores pessoais o referido programa¹⁹.

Durante o encontro cada aluno recebeu uma cópia do roteiro que foi lido coletivamente e executado passo a passo de forma simultânea. Para orientar a execução de cada passo do programa fez-se uso de uma apresentação em slides que ilustravam a tela do programa referente a cada etapa de execução.

A turma só avançava na realização da atividade quando todos os estudantes tivessem concluído a etapa anterior. Embora os estudantes tivessem sido orientados que a realização da atividade era individual, a interação entre eles não foi proibida e por vezes estimulada, uma vez que em alguns momentos um ou outro aluno encontrava certa dificuldade em acessar os comandos solicitados. No entanto, nenhum deles demonstrou dificuldade que impedisse o andamento da atividade.

O programa utilizado consiste em duas partes. A primeira é uma ferramenta para exibição e classificação de espectros. Tal ferramenta facilita a medição dos comprimentos de onda e intensidades das linhas espectrais, e fornece uma lista dos comprimentos de onda de linhas espectrais conhecidas para ajudar na identificação das características espectrais, e na associação à elementos químicos específicos. Maiores detalhes sobre a atividade, tais como a apresentação das respectivas telas será fornecida ao longo do Capítulo 4.

Cada estudante deveria examinar o espectro digital de 25 estrelas, cujo tipo espectral não foi fornecido a priori, e determinar o tipo espectral de cada uma e registrar os resultados. Os espectros deveriam ser comparados visualmente e digitalmente (ponto a ponto) com um catálogo de 13 espectros padrão de estrelas conhecidas. A partir da observação das intensidades das linhas de absorção

¹⁹ Disponível no endereço: <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>.

características de cada espectro, o aluno deveria ser capaz de estimar o tipo espectral de cada estrela desconhecida.

Para a realização dessa etapa os alunos foram orientados a seguir as orientações do roteiro para iniciar a execução propriamente dita do programa, inserindo as informações do aluno (nome e sobrenome). Em seguida, orientou-se que todos acessassem a atividade seguindo as orientações do *passo 1* do roteiro, feito isso, eles deveriam observar a tela representada pela Figura 3.5.

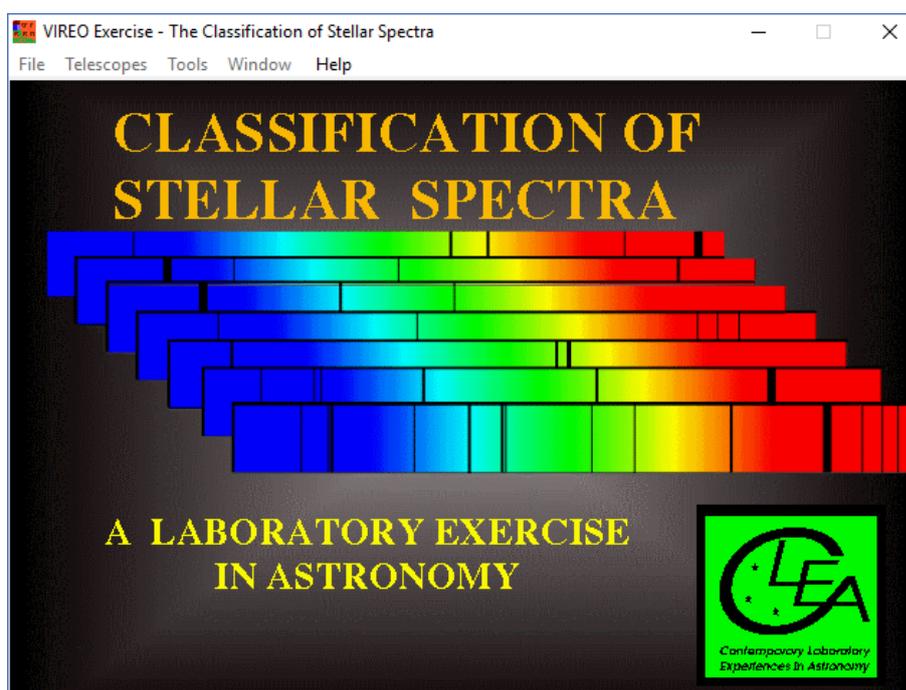


Figura 3.5. Ilustração da tela inicial da atividade de classificação espectral do laboratório virtual do CLEA.
Fonte: <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>

Para acesso a ferramenta de classificação, todos foram orientados a executar os comandos do *passo 2*. Uma vez acessada a ferramenta de classificação, na tela de cada aluno deveria aparecer três painéis que seriam usados para exibir um espectro desconhecido e outros dois desconhecidos para fins de comparação, conforme Figura 3.6.

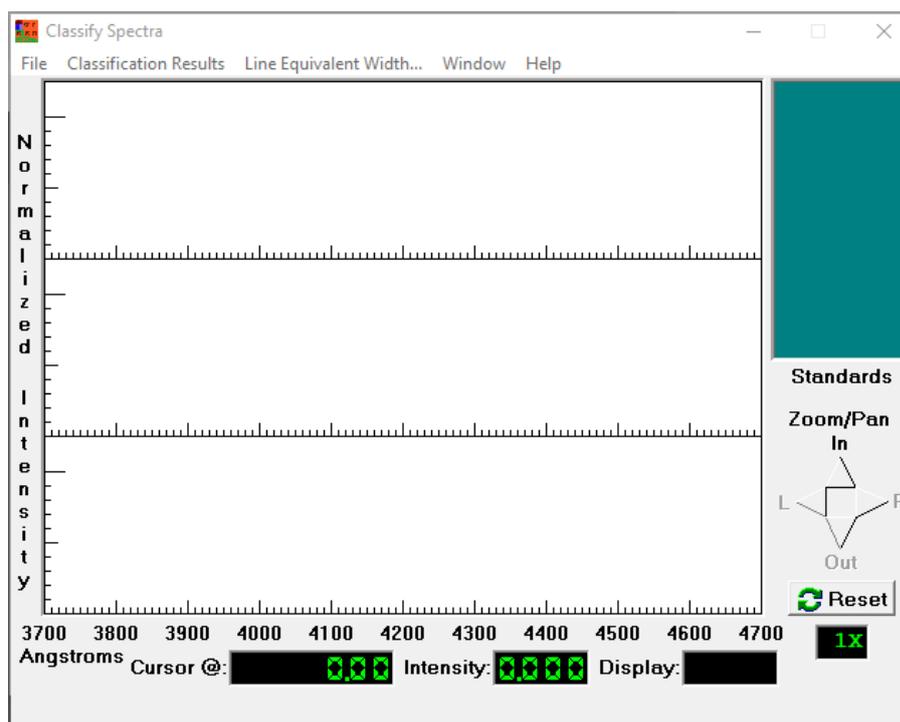


Figura 3.6. Ilustração da tela referente ao *passo 3* da atividade de classificação espectral do CLEA.
 Fonte: <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>

Em seguida, os alunos utilizaram a ferramenta para classificar o primeiro dos 25 espectros de tipo espectral desconhecido. Para isso, utilizaram os comandos descritos no *passo 5* do roteiro da atividade. O espectro desconhecido deveria aparecer no painel central da tela, como mostra a Figura 3.7. A estrela em questão estava identificada como *HD 124320*.

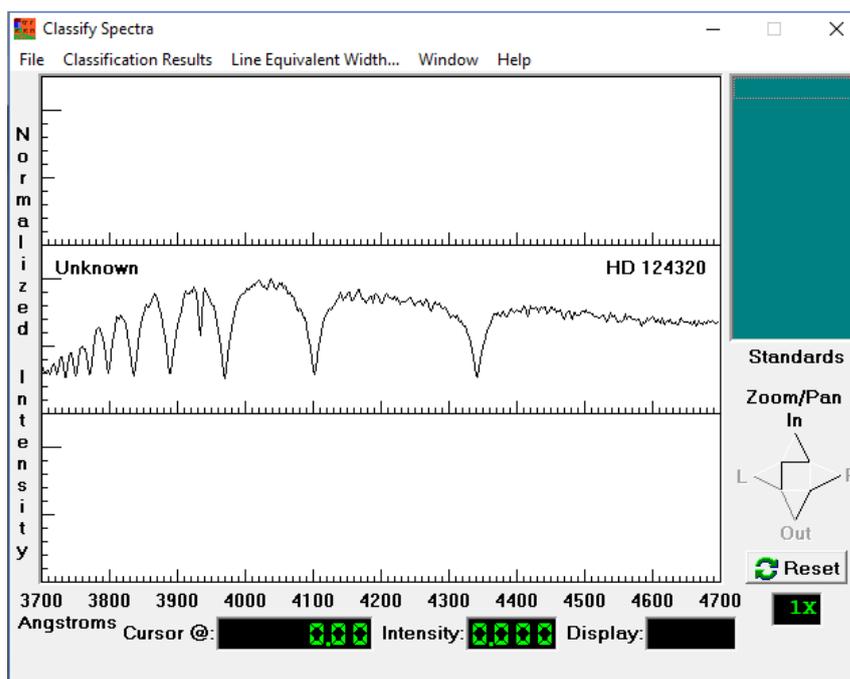


Figura 3.7. Ilustração da tela com o espectro da estrela desconhecida *HD 124320*, referente ao *passo 5* da atividade de classificação espectral do CLEA.

Fonte: <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>

Os alunos foram orientados a analisar o gráfico (espectro) com atenção, identificando-o como uma relação entre a intensidade, que varia de 0,0 (sem luz) a 1,0 (máximo), e o comprimento de onda (compreendido entre 3900 Å a 4500 Å). Destacou-se os pontos altos do espectro, chamados contínuos e os vales que significam as linhas em absorção produzidas pelos elementos que constituem a fotosfera da estrela. Foram orientados a medir o comprimento de onda e a intensidade de um ponto qualquer do espectro e fazer o registro no roteiro. Em seguida deveriam adotar o mesmo procedimento para medir os valores de intensidade e comprimento de onda num ponto específico do espectro, a linha em absorção mais profunda.

Chamando a atenção para a faixa de comprimento de onda recortada para tal espectro, os estudantes foram questionados quanto à cor da luz visível relacionada à faixa de comprimentos de onda em questão. Eles registraram a resposta no roteiro.

Em seguida, os estudantes estimaram o tipo espectral da estrela desconhecida *HD 124320*, a partir de um catálogo com 13 espectros padrão que deveriam aparecer em uma janela separada, conforme ilustra a Figura 3.8. Para acessar o catálogo utilizaram os comandos descritos no *passo 7* do roteiro.

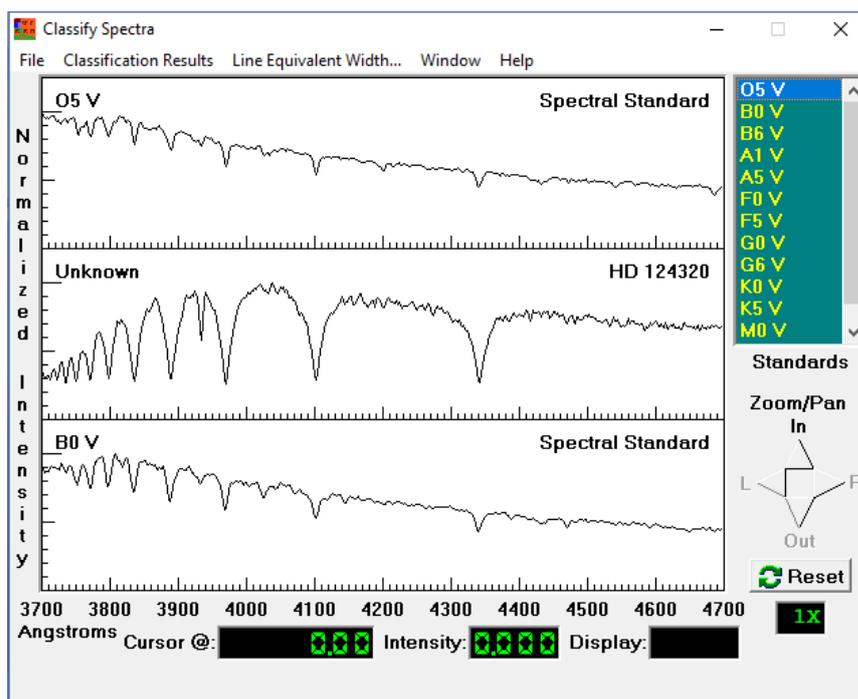


Figura 3.8. Ilustração da tela com o espectro da estrela desconhecida *HD 124320* e dois espectros padrão, referente ao *passo 7* da atividade de classificação espectral do CLEA.

Fonte: <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>

Foi solicitado dos alunos que registrassem, em espaço próprio no roteiro, os tipos espectrais existentes no catálogo. Em seguida, foi feita uma breve retomada teórica sobre a relação entre os tipos espectrais e as linhas em absorção presentes nos espectros, e a relação entre o comprimento de onda de intensidade máxima e a temperatura do objeto, determinada pela Lei de Wien (Equação 3). Embora essas relações tivessem sido tratadas anteriormente durante a realização da *Atividade 2* da SD, entendeu-se que essa etapa da atividade seria um momento oportuno para retomar tal discussão, visto que para alguns estudantes essas relações não pareceram tão triviais.

A partir da relação entre essas grandezas os estudantes responderam aos itens do *passo 8*, determinando qual tipo espectro é mais quente; identificando o tipo espectral que apresenta intensidade de pico contínuo num comprimento de onda de 4200 Å e por fim, qual seria a temperatura da estrela.

Em seguida, usando os espectros de comparação do atlas, os estudantes identificaram o tipo espectral da estrela HD124320. Para obter uma comparação de forma mais quantitativa, determinaram a diferença entre o espectro desconhecido e o padrão acessando os comandos descritos no *passo 9* do roteiro. Nesse caso, a tela

exibirá três painéis, o primeiro contendo o espectro desconhecido, o segundo contendo o espectro padrão e o terceiro exibindo a diferença entre eles (Figura 3.9).

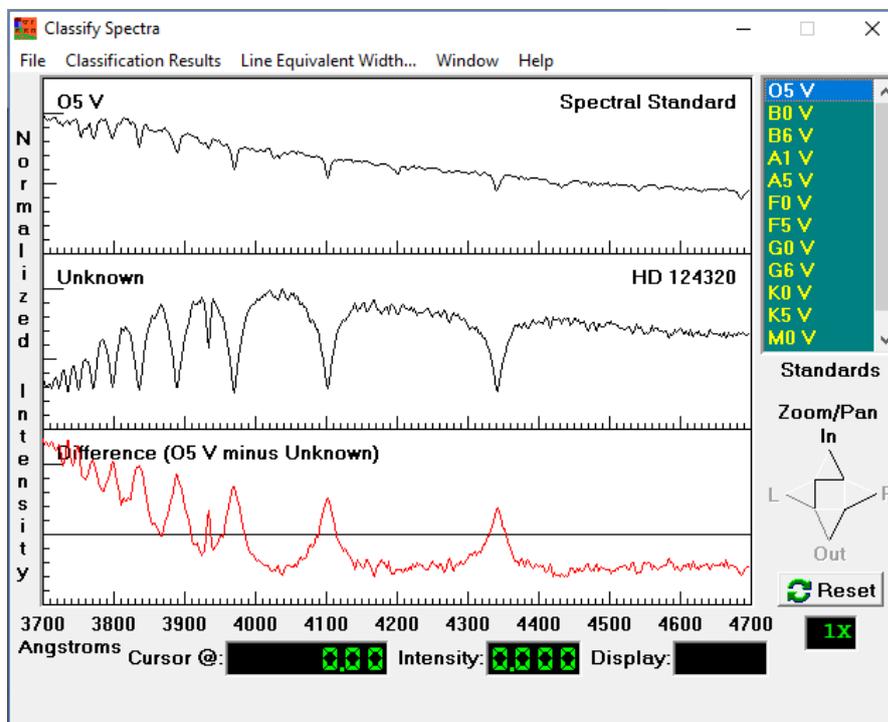


Figura 3.9. Ilustração da tela mostrando a diferença entre os espectros das estrelas *HD 124320* e padrão tipo *O5*, referente ao passo 9 da atividade de classificação espectral do CLEA.

Fonte: <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>

Para fazer a classificação do espectro, os estudantes compararam as linhas presentes na estrela desconhecida com as linhas do espectro padrão. A atividade foi pausada nesse momento em virtude do término do tempo previsto para esse primeiro encontro.

3.3.2. Segundo encontro

3.3.2.1. Atividade 3: Continuação

Iniciamos a aula retomando brevemente as etapas da atividade de laboratório virtual realizadas até aqui. Em seguida, os estudantes foram estimulados a identificarem os elementos que produziram tais linhas buscando uma janela que

continha uma lista de linhas espectrais e seus respectivos elementos. Para isso, acessaram um ponto qualquer do espectro e determinaram a fonte (elemento) usando os comandos descritos no *passo 10* do roteiro da atividade (Figura 3.10).

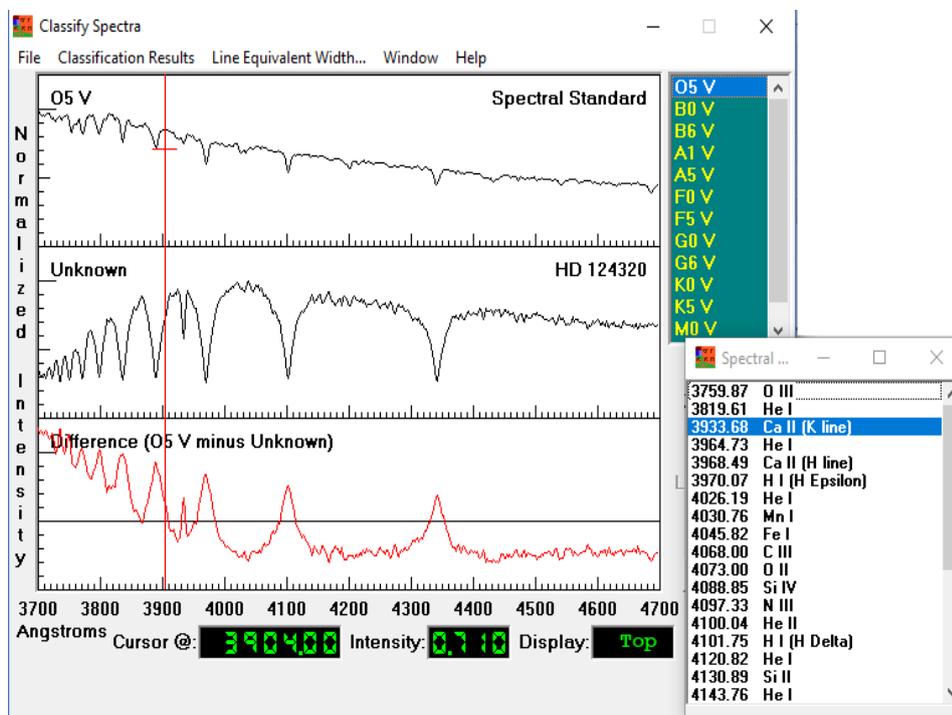


Figura 3.10. Ilustração da tela mostrando a identificação da fonte da linha em absorção, referente ao *passo 10* da atividade de classificação espectral do CLEA.
Fonte: <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>

Solicitou-se dos estudantes que identificassem a fonte da linha em absorção de comprimento de onda 3933 \AA . A resposta foi registrada no roteiro. Em seguida, orientou-se que os estudantes verificassem os espectros de outra forma, por representação fotográfica e de maneira combinada, usando gráfico e fotografia de um mesmo espectro para fins de comparação. Para isso, utilizaram os comandos descritos no *passo 11* do roteiro e visualizaram uma tela semelhante à representada na Figura 3.11.

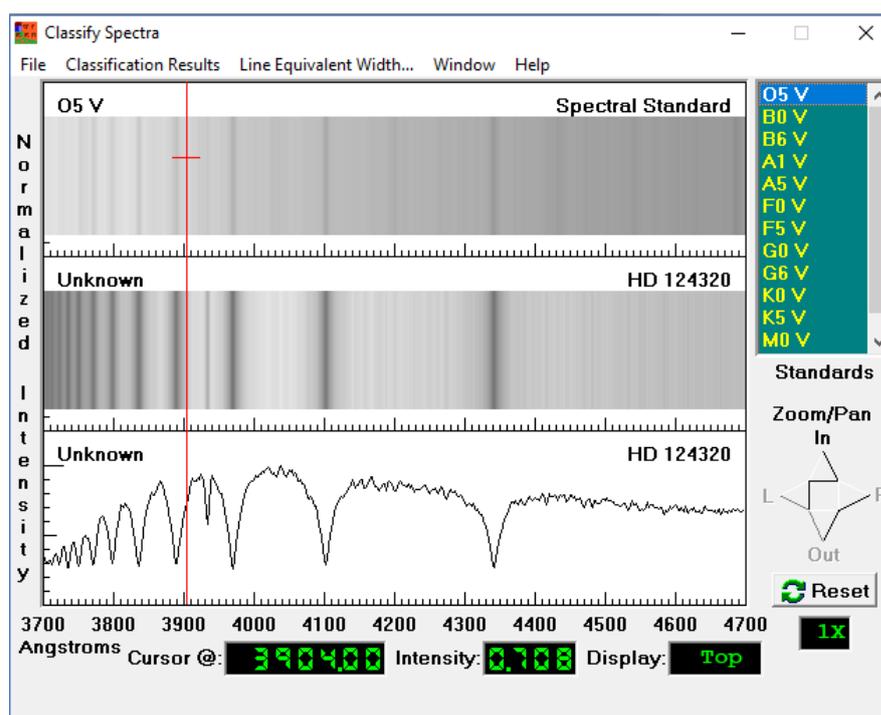


Figura 3.11. Ilustração da tela mostrando o espectro da estrela desconhecida *HD 124320* nas formas gráfica e fotográfica, referente ao *passo 11* da atividade de classificação espectral do CLEA.
 Fonte: <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>.

Logo depois, os estudantes foram instruídos a repetir os procedimentos de classificação por comparação, utilizados para classificar a estrela *HD 124320*, para os outros 24 espectros desconhecidos disponíveis na atividade. Para tanto, deveriam acessar a lista de espectros atendendo aos comandos do *passo 12* do roteiro. Com os resultados deveriam preencher a Tabela 1 disponível no roteiro da atividade.

Finalmente, os estudantes identificaram as linhas espectrais mais proeminentes de cada um dos 13 espectros representativos que constituíam o catálogo da atividade. Para tanto, acessaram novamente a lista de linhas espectrais seguindo os comandos descritos no *passo 10* e preencheram a Tabela 2 integrante do roteiro da atividade (Apêndice 3). Os estudantes puderam optar por visualizar o espectro nas formas distintas disponíveis no *menu* do programa, na forma de gráfico ou na forma de fotografia, conforme mostra a Figura 3.12.

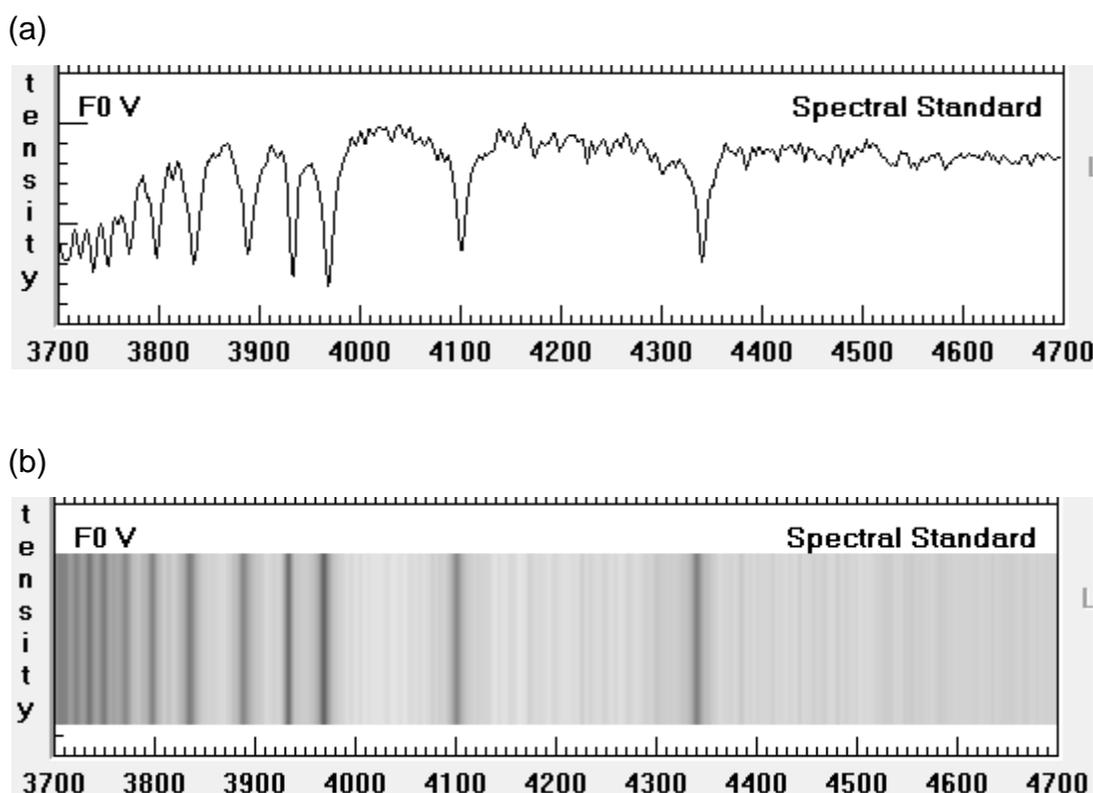


Figura 3.12. (a) Ilustração do espectro do tipo *FOV* da *Atividade 3* da *SD* na forma de gráfico. (b) Ilustração do espectro do tipo *FOV* da *Atividade 3* da *SD* na forma de fotografia.

Para a completa realização dessa atividade, foi dispensado um tempo de aproximadamente 90 minutos.

A segunda parte do programa não foi utilizada nessa proposta, trata-se de uma simulação de um espectrômetro astronômico. Após a obtenção do espectro, espera-se que o estudante seja capaz de ver linhas espectrais distintas, e classifique o espectro.

Com a realização da atividade de laboratório virtual do CLEA esperava-se especificamente que os alunos pudessem: i) entender como os espectros estelares são obtidos; ii) reconhecer as características de diferentes tipos espectrais de estrelas da sequência principal; iii) identificar linhas em absorção proeminentes nos espectros e em suas imagens fotográficas; iv) identificar o tipo espectral de uma estrela a partir da comparação com um espectro padrão; v) estimar a temperatura de superfície de uma estrela a partir do seu espectro.

3.3.2.2. Atividade 4: Reconhecendo espectros

Após a realização da *Atividade 3*, os estudantes receberam uma cópia do material referente à atividade de reconhecimento de espectros (Apêndice 4). Essa atividade está baseada na apresentação de sete espectros de referência identificados por tipo espectral, e outros cinco espectros desconhecidos impressos em papel sulfite. Os espectros apresentados são gráficos de intensidade *versus* comprimento de onda.

Com a atividade projetada em data-show os estudantes acompanharam as orientações para a realização da mesma. Destacou-se as posições do pico de intensidade máxima em cada tipo espectral e os alunos puderam constatar o deslocamento deste na medida em que a temperatura variava, ou seja, para cada tipo espectral diferente. Para tipos espectrais de maior temperatura o pico de intensidade máxima se desloca para comprimentos de onda cada vez menores (Figura 3.13).

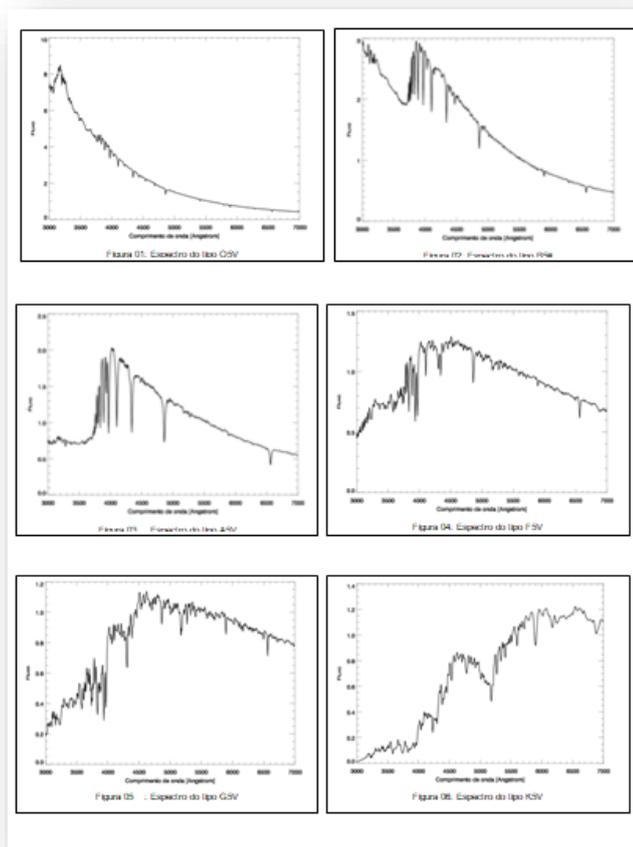


Figura 3.13. Espectros de diferentes tipos evidenciando o deslocamento do pico de intensidade máxima em função da temperatura da estrela (parte integrante do Apêndice 4).

Relembrou-se a relação entre essas grandezas a partir da Lei de Wien, já apresentada durante a realização da *Atividade 2*. Dessa forma, baseando-se principalmente na posição dos picos de intensidade máxima e na comparação com os espectros de referência, os estudantes tiveram que estimar o tipo espectral (*O*, *B*, *A*, *F*, *G*, *K* ou *M*) das cinco estrelas desconhecidas (Figura 3.14).



Figura 3.14. Estudantes realizando a atividade de reconhecimento de espectros.

As imagens utilizadas nessa atividade foram obtidas dos espectros sintéticos dos *Templates de Pickles* (1998) disponíveis no CDS²⁰, seguida de uma leitura dos mesmos por meio do software *IDL*²¹, da posterior impressão dos espectros em um arquivo de saída, sendo que cada arquivo no formato jpeg consiste de um espectro sintético para um dado tipo e subtipo espectral. A escolha das imagens ocorreu de maneira a fornecer uma amostra diversificada, de modo que contemplasse o maior número de tipos espectrais distintos.

Disponibilizou-se um intervalo de tempo de 25 minutos para realização dessa atividade. A aula foi encerrada ao fim da atividade.

²⁰ <http://cdsarc.u-strasbg.fr/viz-bin/cat/J/PASP/110/863>

²¹ *Interactive Data Language*

3.3.3. Terceiro encontro

3.3.3.1. Atividade 5: Construindo espectros com programa computacional

O terceiro dia de encontro (Figura 3.15) foi iniciado com a atividade de construção de espectros. Essa atividade consiste na elaboração de gráficos de espectros com utilização de programa computacional (software livre), tendo como dados os arquivos dos espectros sintéticos de Pickles (1998), obtidos para a realização da *Atividade 4*, e posterior identificação do tipo espectral.

Os arquivos foram nomeados de forma aleatória utilizando a expressão “Espectrando” seguido por um número: Espectrando 1, Espectrando 2, Espectrando 3 etc. e compreendem uma faixa de comprimento de onda de intervalo de 3000Å a 7000 Å, cada qual contendo dados de fluxo (intensidade) e o comprimento de onda (λ) para o espectro sintético. Como a resolução dos espectros é de 5 Å, tem-se aproximadamente, 800 pontos (pares de comprimento de onda e fluxo) para cada tipo e sub-tipo espectral.

Recomendou-se aos estudantes que baixassem previamente, programa específico de sua preferência, a ser utilizado em seus computadores pessoais. Em seguida, os estudantes foram orientados de maneira coletiva e com auxílio de projeção da tela inicial do programa a respeito do preenchimento dos dados que originariam os gráficos de espectros (Figura 3.16). No eixo designado pelas ordenadas (y) foram inseridos os dados de fluxo (intensidade) enquanto no eixo das abscissas (x) foram inseridos os valores referentes aos comprimentos de onda. Em tempo real elaborou-se um espectro como forma de exemplificar a resolução da atividade.

De maneira aleatória foram designados dos Templates de Pickles (1998), cinco arquivos para cada estudante que os copiaram em seus computadores, e utilizaram os dados para alimentar o programa de sua escolha, e finalmente plotar o gráfico referente a cada arquivo (Figura 3.17). Feito isso, os estudantes identificaram o espectro gerado utilizando o mesmo número do arquivo disponibilizado.

A estimativa do tipo espectral de cada gráfico gerado, foi realizada, a partir dos parâmetros utilizados nas atividades anteriores, o que significa que os estudantes levaram em consideração as linhas em absorção observadas e a posição do pico de intensidade máxima para fazer a identificação. Em seguida os estudantes salvaram em

pen drive e entregaram os gráficos plotados e seus respectivos tipos espectrais num documento de texto.

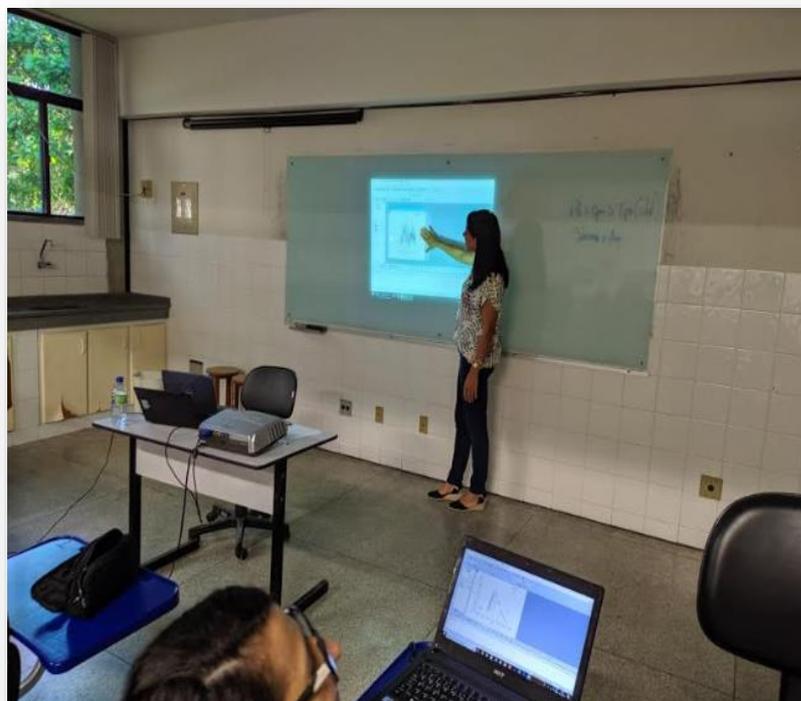


Figura 3.15. Orientações para realização da atividade de construção de espectros com programa computacional.

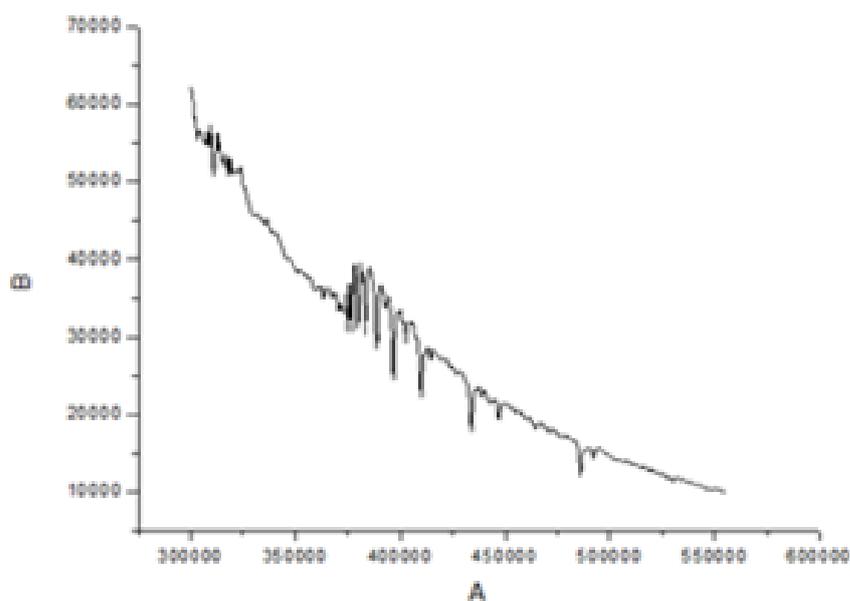


Figura 3.16. Exemplo de espectro gerado durante a realização da atividade de construção de espectros com programa computacional.

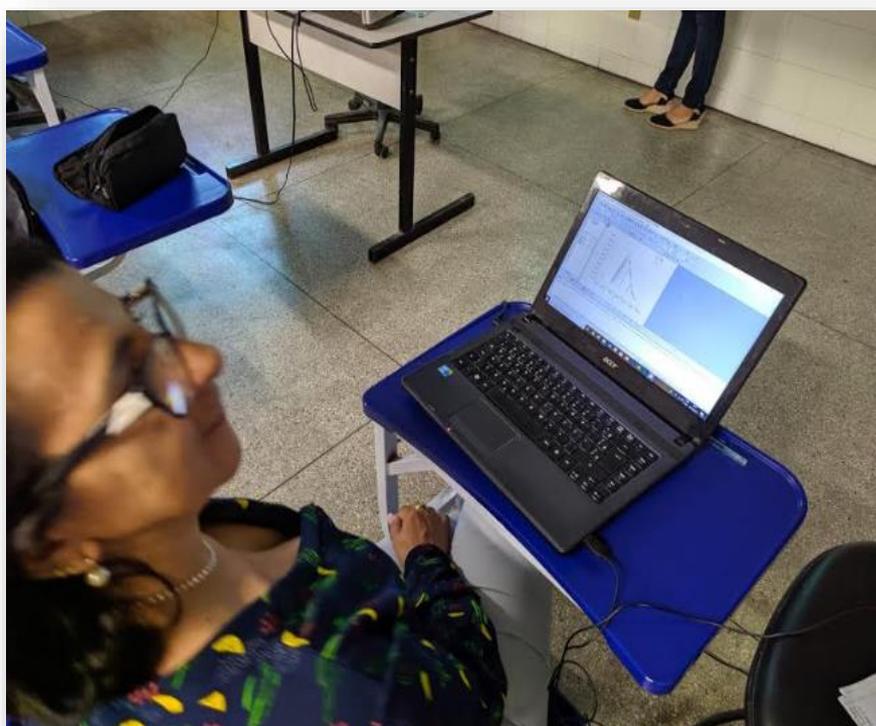


Figura 3.17. Estudante realizando a atividade de construção de espectros.

Para realização da *Atividade 5* disponibilizou-se um intervalo de tempo de 60 minutos.

3.3.3.2. *Atividade 6: Identificando estrelas no Diagrama HR*

A atividade consiste no preenchimento de um Diagrama HR intencionalmente incompleto com a alocação das estrelas ocultas em suas respectivas posições a partir do reconhecimento de suas principais características.

A *Atividade 6* foi iniciada com a retomada da fundamentação teórica apresentada como *Atividade 2*, os principais conceitos foram revisados para introdução do estudo do Diagrama HR. Com o auxílio de uma apresentação em slides, partiu-se da classificação espectral proposta por Annie Cannon e foram mostradas as classes de luminosidades como refinamento da classificação.

Em seguida abordou-se a descoberta do Diagrama HR por Hertzsprung e Russell como forma de relacionar a luminosidade e a temperatura das estrelas. Após o estudo da localização de algumas estrelas no diagrama e da identificação das classes de luminosidade no mesmo, propôs-se a realização da atividade de preenchimento do Diagrama HR. A abordagem teórica durou cerca de 25 minutos.

Posteriormente, distribuiu-se para cada docente uma cópia do roteiro da atividade (Apêndice 6) seguida da orientação coletiva para realização da mesma. Os estudantes foram estimulados a verificar no roteiro as principais propriedades (tipo espectral, luminosidade e magnitude absoluta) das 20 estrelas mais brilhantes (Tabela 2 do Apêndice 6).

Tendo como base, a apresentação prévia de fundamentação teórica do Diagrama HR e nas características de cada estrela, os estudantes foram orientados a alocar corretamente onze estrelas das 20 disponíveis, nas lacunas em branco, a fim de preencherem corretamente o Diagrama HR. Os estudantes realizaram essa atividade num intervalo de 35 minutos (Figura 3.18).

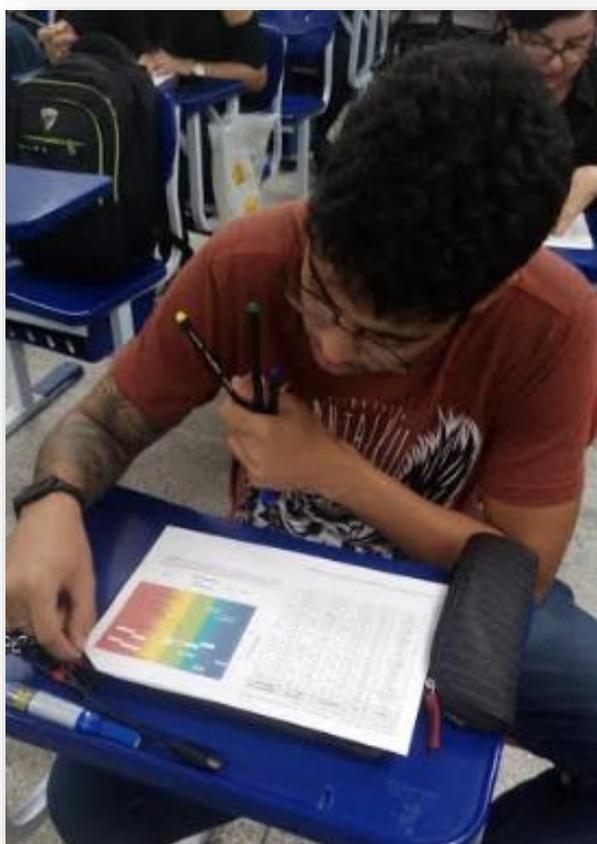


Figura 3.18. Estudante preenchendo o Diagrama HR da *Atividade 6* da SD.

As atividades da Sequência Didática *Espectrando* foram concluídas sem intercorrências. Ao final do encontro, os estudantes foram convidados a avaliarem verbal e espontaneamente a seqüência de atividades. Boa parte da turma se manifestou nesse momento. As considerações relatadas pelos estudantes, assim como todas as outras etapas da atividade, serviram como instrumento de avaliação desse trabalho.

3.3.3.3. *Atividade 7: Questionário Pós- teste*

Três semanas após a realização da última atividade, a turma foi convidada sem aviso prévio, a responder o questionário de avaliação pós-teste (Apêndice 7). O modelo disponibilizado é idêntico ao utilizado no início das atividades. A atividade foi respondida individualmente, identificada da mesma forma que as demais atividades integrantes da seqüência e foi concluída num intervalo de tempo de 15 minutos.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo serão avaliadas, de maneira qualitativa e quantitativa, as respostas atribuídas pelos estudantes nas atividades desenvolvidas na Sequência Didática *Espectrando*, bem como nas questões das atividades pré-teste e pós-teste, os quais serão apresentados no final do capítulo por meio de comparação entre a atividade diagnóstica (pré-teste) e a atividade avaliativa (pós-teste). No entanto, para fins de avaliação, da eficácia da Sequência Didática proposta serão consideradas todas as respostas atribuídas pelos estudantes em todas as etapas do processo.

4.1. ATIVIDADE 3 – *THE CLASSIFICATION OF STELLAR SPECTRA*

Durante a realização dessa atividade os estudantes utilizaram o laboratório virtual (disponibilizado pelo CLEA, “*The Classification of Stellar Spectra*”) para obter espectros usando um telescópio simulado e um espectrômetro, a partir disso identificaram e classificaram espectros de estrelas desconhecidas a partir da comparação destes com os espectros de um atlas de estrelas padrão de tipos espectrais conhecidos; reconheceram linhas em absorção proeminentes nos espectros e em suas imagens fotográficas; avaliaram as principais características das linhas em absorção e determinaram os elementos químicos que as produziram.

Os estudantes realizaram as instruções descritas nos *passos 1 a 5* no roteiro de orientação dessa atividade (Apêndice 3) para acessar ao primeiro espectro desconhecido identificado por *HD 124320*. Para executar o *passo 6a* da atividade os estudantes escolheram um ponto qualquer do continuum do espectro da estrela desconhecida e registraram intensidade e comprimento de onda referente a tal ponto. Durante a orientação dessa etapa da atividade ressaltou-se quanto aos limites do espectro observado, uma vez que o mesmo cobre apenas uma porção limitada da faixa visível de comprimentos de onda, o que significa que há outras faixas no espectro dessa estrela não contempladas nessa representação.

Todos os valores apresentados pelos estudantes correspondem aos dados informados pelo programa para o espectro da estrela em questão, ou seja, para cada ponto do espectro escolhido por cada aluno, estão corretamente associados os respectivos valores de comprimento de onda e intensidade.

Para responder a questão do *passo 6b* os estudantes precisaram medir o comprimento de onda e intensidade do ponto mais profundo da linha em absorção mais profunda no espectro desconhecido *HD 124320*.

As figuras 4.1 e 4.2 apresentam a frequência das faixas de comprimento de onda, e de suas respectivas intensidades atribuídas pelos estudantes para o ponto mais profundo da linha em absorção mais profunda do contínuo da estrela *HD 124320*.

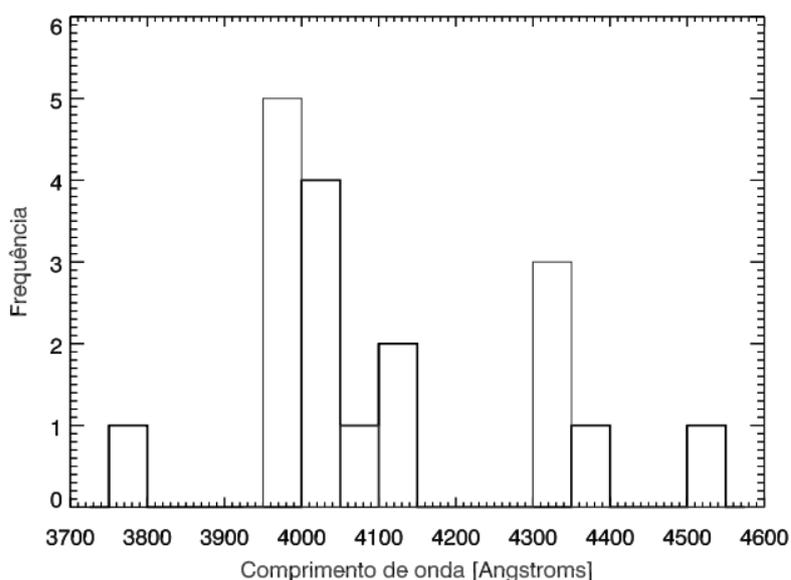


Figura 4.1. Número de ocorrências de faixas de comprimento de onda atribuídos pelos estudantes para o ponto mais profundo da linha em absorção mais profunda do contínuo da estrela desconhecida *HD 124320*.

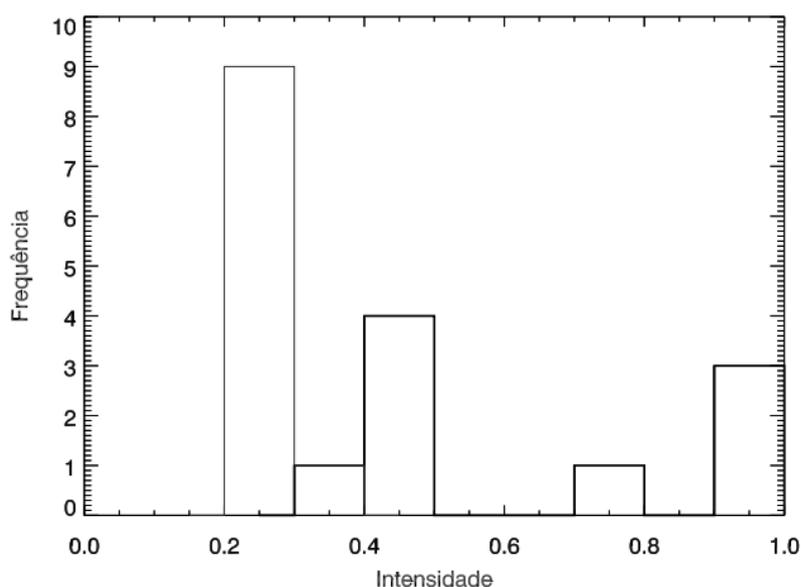


Figura 4.2. Número de ocorrências de faixas de intensidade atribuídas pelos estudantes para o ponto mais profundo da linha em absorção mais profunda no continuum da estrela desconhecida *HD 124320*.

Tendo como base os valores atribuídos pelos estudantes, foram calculadas as medianas e o desvio padrão para o comprimento de onda e intensidade, os quais são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Valores médios e desvios padrão dos comprimentos de onda e intensidades atribuídos como respostas pelos estudantes ao *passo 6b* da *Atividade 3* da SD.

Grandeza	Valor Médio	Desvio padrão
Comp. de onda	4098,000	321,091
Intensidade	0,280	0,015

O valor relativamente alto para o desvio padrão dos comprimentos de onda, obtidos pelos estudantes pode ser atribuído a uma divergência de interpretação na localização do ponto mais profundo da linha em absorção mais profunda do espectro da estrela *HD 124320*.

A Figura 4.3 apresenta o espectro obtido pelos estudantes, a partir da imagem podemos inferir que os mesmos podem ter facilmente discordado sobre o ponto a ser medido, uma vez que o espectro apresenta vales de absorção semelhantes em faixas de comprimentos de ondas diferentes.

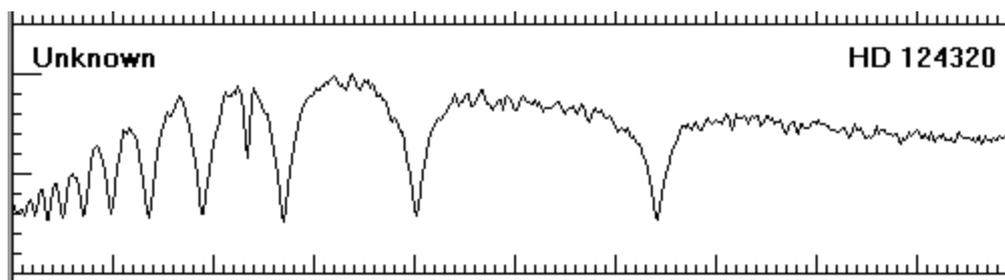


Figura 4.3. Espectro da estrela desconhecida *HD 124320* apresentado pelo programa *The Classification of Stellar Spectra*.

O passo 7 da atividade de classificação estelar trata da reprodução dos tipos espectrais listados no atlas de estrelas padrão apresentado pelo programa em execução. Os estudantes deveriam incluir a letra e o subtipo e deveriam ignorar o algarismo romano no fim do tipo espectral (por exemplo, G2,...). A Figura 4.4 apresenta a tela visualizada pelos estudantes durante a realização dessa tarefa.

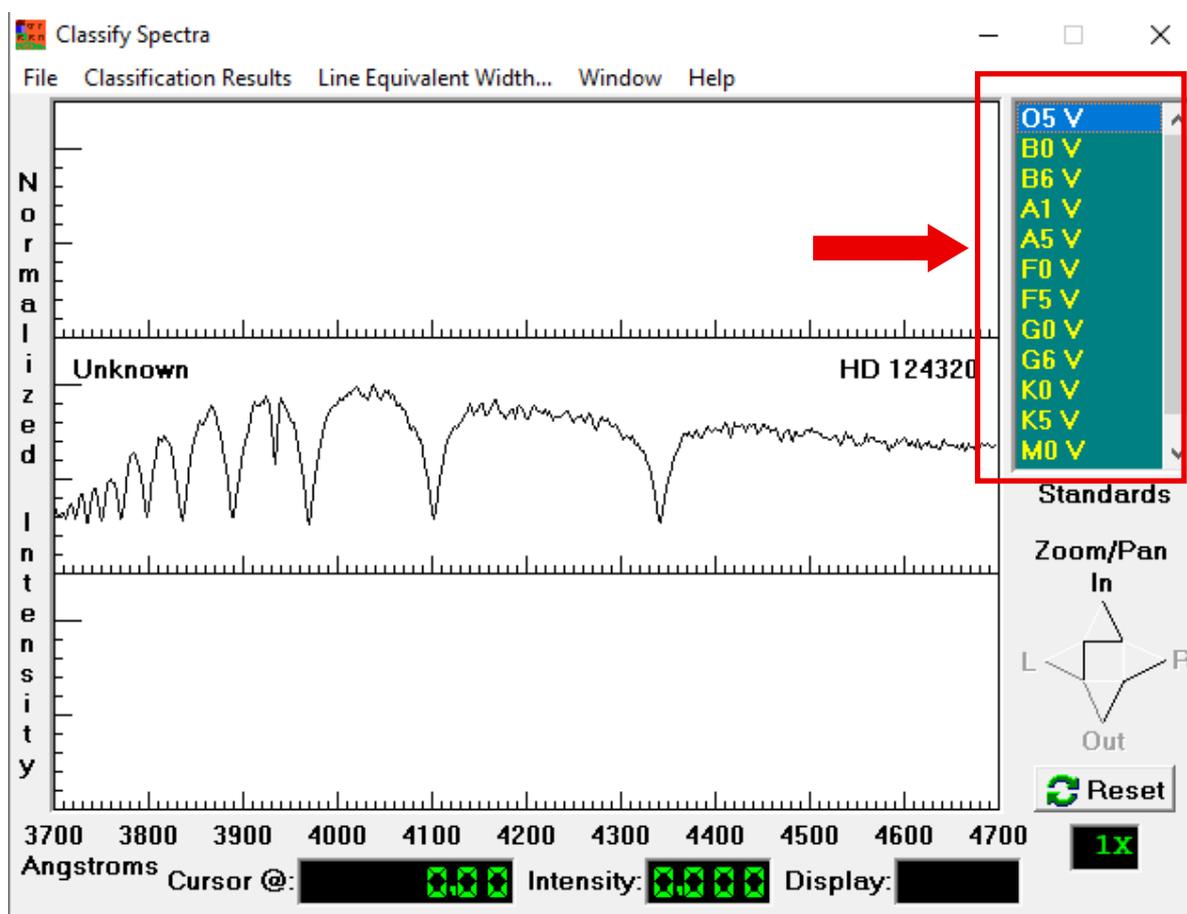


Figura 4.4. Tela para escolha de tipos espectrais disponíveis para comparação com o espectro desconhecido.

Como respostas, todos os 10 estudantes que realizaram essa tarefa apresentaram a sequência *O5, B0, B6, A1, A5, F0, F5, G0, G6, K0, K5 e M0*, listando corretamente os tipos de espectros, incluindo os numerais representativos dos subtipos espectrais listados no atlas.

O *passo 8a* da atividade tratou de identificar, a partir dos tipos disponíveis no catálogo, qual deles se refere a uma estrela mais quente. Os estudantes foram orientados a recordar as principais características de cada tipo espectral sugerido pela *Classificação de Harvard* e verificar o espectro padrão apresentado para cada tipo, conforme exemplificado na Figura 4.5.

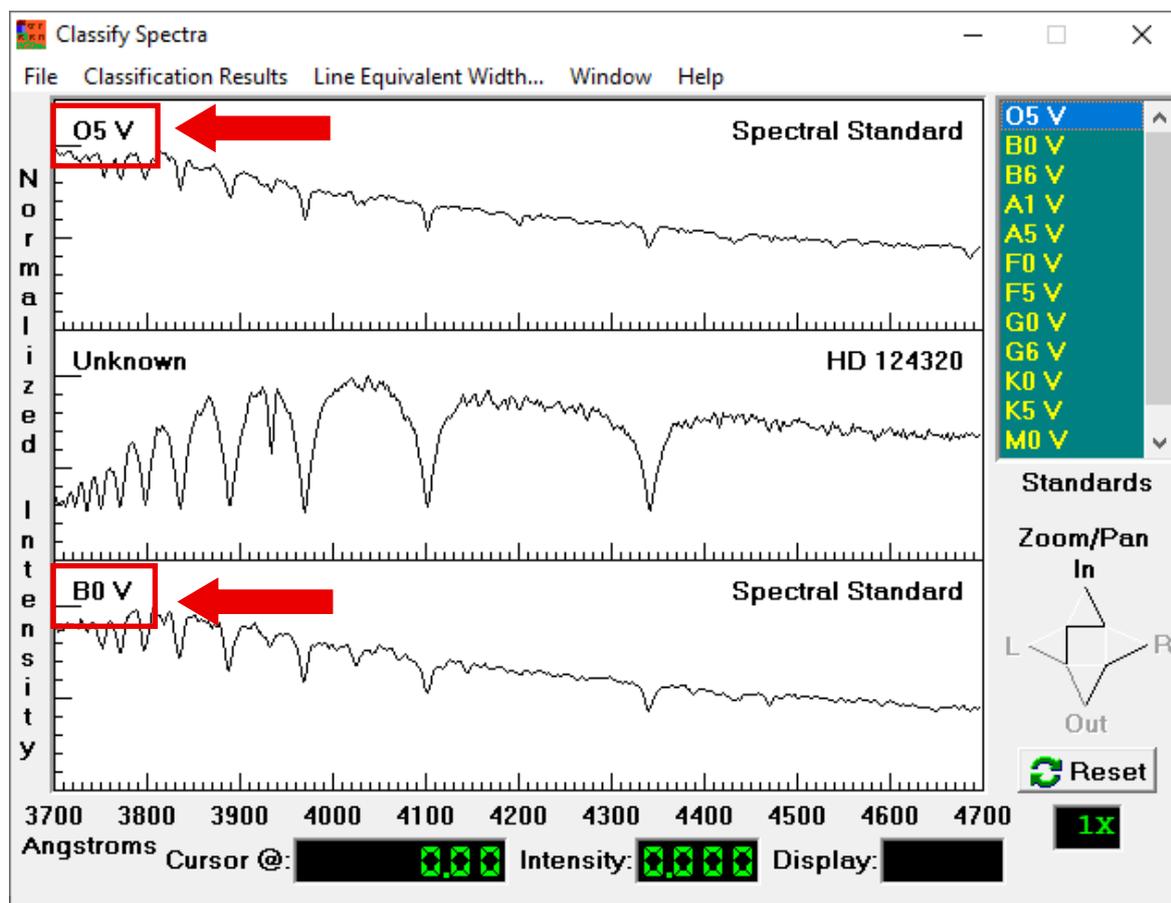


Figura 4.5. Ilustração da tela observada pelos estudantes durante a realização do *passo 8a* da Atividade 3 da SD. Em destaque, os espectros dos tipos *O5V* e *B0V*.

A partir da posição do pico de intensidade máxima de cada espectro, estimaram qual o tipo espectral da estrela mais quente. As respostas atribuídas pelos estudantes estão apresentadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Frequência das respostas atribuídas pelos estudantes ao *passo 8a* da *Atividade 3* da SD.

Tipo espectral	Frequência
O5V	9
B0V	1

Ainda em resposta ao *passo 8a* da atividade, os estudantes deveriam explicar o motivo pelo qual escolheram o tipo espectral da etapa anterior. Dos dez alunos que responderam a essa questão, sete atribuíram a escolha a relação inversa entre o comprimento onde está localizado o pico de intensidade máxima do espectro e a temperatura, lembrando a Lei de Wien. Ou seja, a estrela de maior temperatura tem em seu espectro pico de intensidade máxima localizado em comprimento de onda menor, nesse caso, trata-se do tipo espectral O5V.

Os outros três alunos não responderam a tal questão, o que inviabiliza a nossa avaliação em relação aos motivos de escolha do tipo espectral. Além de um estudante, que por estar ausente em nosso primeiro encontro deixou de responder as etapas aplicadas até aqui, outros dois deixaram de responder quanto aos motivos de escolha do tipo espectral. Entre estes últimos, apenas um estudante atribuiu resposta diferente para o tipo espectral mais quente, indicando B0V. Como justificativa o mesmo indicou que o pico de intensidade máxima no espectro de tipo está localizado no comprimento de onda 3800 Å, como sugere a imagem de seu espectro apresentado na Figura 4.6.

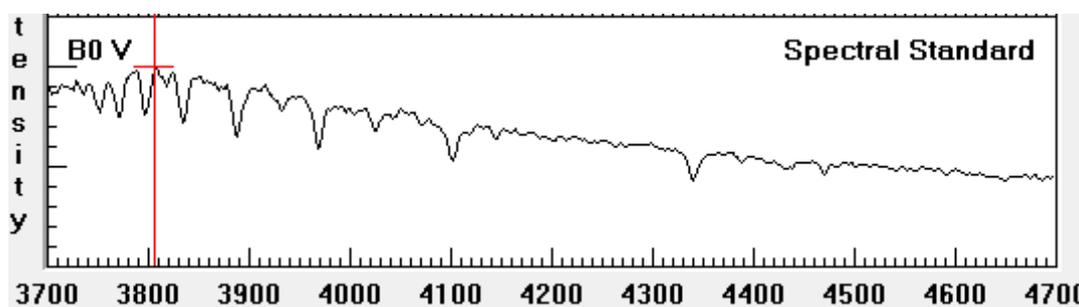


Figura 4.6. Ilustração da tela observada pelos estudantes durante a realização do *passo 8a* da *Atividade 3* da SD. Em destaque, a posição do pico de intensidade máxima do espectro do tipo B0V.

No entanto, a análise do espectro do tipo O5V da Figura 4.7 indica um pico de intensidade máxima localizado num comprimento de onda menor, na faixa de 3716Å, o que representa um índice de 90% de repostas corretas para essa questão.

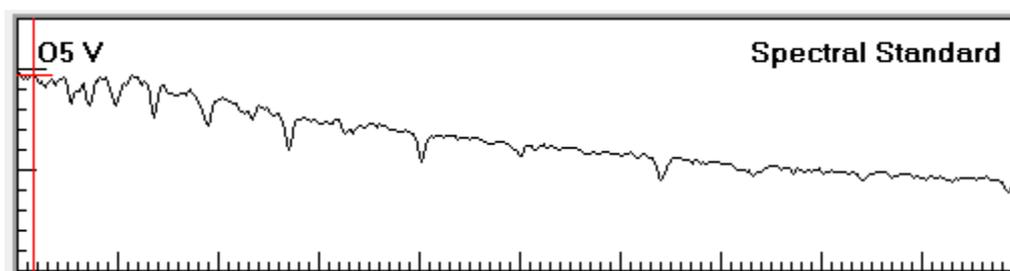


Figura 4.7. Tela relativa ao passo 8a da Atividade 3 da SD. Em destaque, a posição do pico de intensidade máxima do espectro do tipo O5V.

No passo 8b da atividade os estudantes deveriam identificar o tipo espectral cujo pico de intensidade máxima está localizado no comprimento de onda de 4200 Å.

Para essa questão todos os dez estudantes atribuíram corretamente o espectro do tipo F5V como resposta. A Figura 4.8 indica um pico localizado no comprimento de onda 4210 Å, sendo dentre os espectros disponibilizados, o mais próximo do valor solicitado pela questão de 4200 Å.

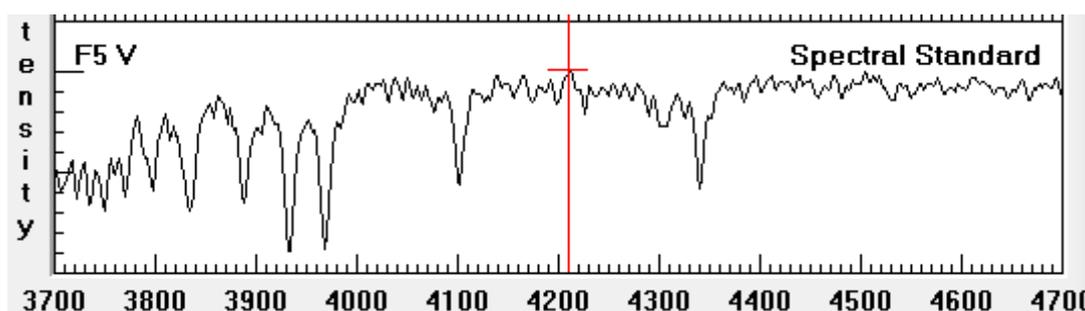


Figura 4.8. Ilustração da tela observada pelos estudantes durante a realização do passo 8b da Atividade 3 da SD. Em destaque, a posição do pico de intensidade máxima do espectro do tipo F5V localizado num comprimento de onda de 4210Å.

Posteriormente, para responder ao passo 8c, os estudantes deveriam estimar a temperatura da estrela do passo anterior, ou seja, com pico de intensidade máxima de 4200 Å. Para tanto, deveriam fazer uso da Lei de Wien que relaciona λ_{max} e T . Os

valores encontrados pelos estudantes possuem valor médio de 6899,82 K e um desvio padrão de 42,96.

O *passo 9* da atividade adaptada do CLEA trata da classificação espectral da estrela *HD 124320* (com tipo espectral não fornecido inicialmente) por meio da comparação de seu espectro com os espectros padrão disponíveis no catálogo de espectros. Em uma etapa posterior, os estudantes estimaram o tipo espectral de *HD 124320* e as respostas são apresentadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Frequência dos tipos espectrais estimados pelos estudantes para o espectro desconhecido da estrela (*HD 124320*) como resposta ao *passo 9* da *Atividade 3* da SD.

Tipo espectral	Frequência
A1	5
A2	1
A3	5

Como parâmetro de avaliação utilizou-se da resposta apresentada pelo programa no Manual do Estudante, que classifica o espectro da estrela *HD 124320*, como característico de uma estrela de tipo espectral A3. Assim, nota-se que 100% dos estudantes estimaram corretamente que *HD 124320* é uma estrela, cujo tipo espectral é do *Tipo A*. Por outro lado, foram constatadas divergências quanto ao subtipo espectral, nesse caso quase metade dos estudantes, 45,4% estimaram corretamente o subtipo espectral (subtipo 3); na mesma proporção, outros 45,4% dos estudantes atribuíram ao espectro desconhecido o subtipo 1 e apenas 9% estimou o subtipo 2 para a estrela desconhecida.

Na sequência, os estudantes responderam ao *passo 10* identificando a fonte (elemento) da linha em 3933 Å apresentada na Figura 4.9.

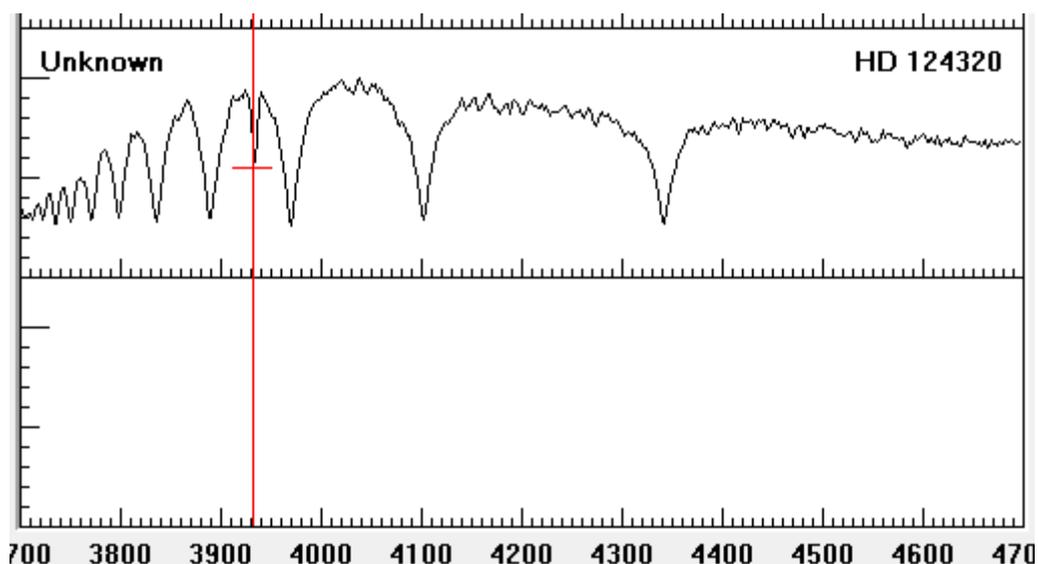


Figura 4.9. Tela do *passo 10* da *Atividade 3* da SD. Em destaque, a posição a linha em absorção localizada em 3933Å.

Em resposta a essa etapa das atividades, todos os onze estudantes identificaram corretamente a fonte da linha localizada no comprimento de onda 3933Å como sendo o elemento *Ca II (K line)*.

Na sequência, de acordo com o *passo 12*, os estudantes deveriam classificar as outras 24 estrelas desconhecidas disponibilizadas pelo programa. Para avaliação dessa etapa da atividade utilizou-se um esquema de codificação no qual as letras associadas aos tipos espectrais (*O, B, A, F, G, K e M*) foram substituídas por numerais (*0, 1, 2, 3, 4, 5 e 6*), um método útil na identificação e análise das respostas atribuídas pelos estudantes. A saber: *O = 0; B = 1; A = 2; F = 3; G = 4; K = 5 e M = 6*. Os números referentes ao subtipo espectral não sofreram alteração. Assim, uma estrela tipo *B2*, por exemplo, será representada pelo código 1.2.

Como parâmetro de avaliação das respostas atribuídas pelos estudantes a essa etapa da atividade, utilizou-se dos dados disponibilizados pelo SIMBAD²², somente quando não se encontrou nessa fonte, dados referentes à estrela pesquisada, utilizou-se das informações do Manual do Estudante do programa. Essa preferência se deu pelo fato dos dados disponibilizados pelo SIMBAD serem constantemente atualizados.

Após codificar as respostas dos onze estudantes calculou-se a mediana e o respectivo desvio padrão de cada estrela, o que pode ser visto na Tabela 4.4.

²² Disponível em: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>.

Tabela 4.4. Valores de mediana dos tipos espectrais atribuídos pelos estudantes para cada uma das 24 estrelas desconhecidas e as respectivas respostas padrão, com e sem codificação, da *Atividade 3* da SD.

Estrela	Mediana	Desvio padrão	Tipo espectral	Mediana	Tipo espectral
<i>HD 37767</i>	1.10	0.200	1.30	<i>B1</i>	<i>B3</i>
<i>HD 35619</i>	1.00	0.180	0.75	<i>B0</i>	<i>O7.5</i>
<i>HD 23733</i>	3.00	0.030	2.90	<i>F0</i>	<i>A9</i>
<i>O1015</i>	1.60	0.065	1.80	<i>B6</i>	<i>B8</i>
<i>HD 24189</i>	3.60	0.337	3.60	<i>F6</i>	<i>F6</i>
<i>HD 107399</i>	4.00	0.030	3.80	<i>G0</i>	<i>F8</i>
<i>HD 240344</i>	1.30	0.225	1.50	<i>B3</i>	<i>B5</i>
<i>HD 17647</i>	4.60	0.065	4.50	<i>G6</i>	<i>G5</i>
<i>BD+63137</i>	6.00	0.030	5.70	<i>M0</i>	<i>K7</i>
<i>HD 66171</i>	4.40	0.144	4.20	<i>G4</i>	<i>G2</i>
<i>HZ 948</i>	3.50	0.030	3.30	<i>F5</i>	<i>F3</i>
<i>HD 35215</i>	1.00	0.067	1.10	<i>B0</i>	<i>B1</i>
<i>Feige 40</i>	1.30	0.169	1.40	<i>B3</i>	<i>B4</i>
<i>Feige 41</i>	2.10	0.065	2.10	<i>A1</i>	<i>A1</i>
<i>HD 6111</i>	4.30	0.145	4.50	<i>G3</i>	<i>G5</i>
<i>HD 23863</i>	2.50	0.067	2.70	<i>A5</i>	<i>A7</i>
<i>HD 221741</i>	2.20	0.133	2.30	<i>A2</i>	<i>A3</i>
<i>HD 242936</i>	1.00	0.271	0.80	<i>B0</i>	<i>O8</i>
<i>HD 5351</i>	5.30	0.133	5.40	<i>K3</i>	<i>K4</i>
<i>SAO81292</i>	6.50	0.151	6.40	<i>M5</i>	<i>M4</i>
<i>HD 27685</i>	4.60	0.000	4.40	<i>G6</i>	<i>G4</i>
<i>HD 21619</i>	2.50	0.065	2.60	<i>A5</i>	<i>A6</i>
<i>HD 23511</i>	3.50	0.030	3.50	<i>F5</i>	<i>F5</i>
<i>HD 158659</i>	1.00	0.000	1.50	<i>B0</i>	<i>B5</i>

Observando a Tabela 4.4 notamos que nas linhas 4, 7, 10, 12, 22, 24 e 25 apresentam os menores valores de desvio padrão e se referem às estrelas: *HD 23733* do tipo *A9*, *HD 107399* do tipo *F8*; *BD +63137* do tipo *K7*; *HZ 948* do tipo *F3*; *HD 27685*

do tipo *G4*; *HD 23511* do tipo *F5* e *HD 158659* do tipo *B5*, respectivamente. Enquanto a linha 6 apresenta o maior valor de desvio padrão da amostra. Trata-se da estrela *HD 24189* de tipo espectral *F6*, cujo espectro observado está apresentado na Figura 4.10.

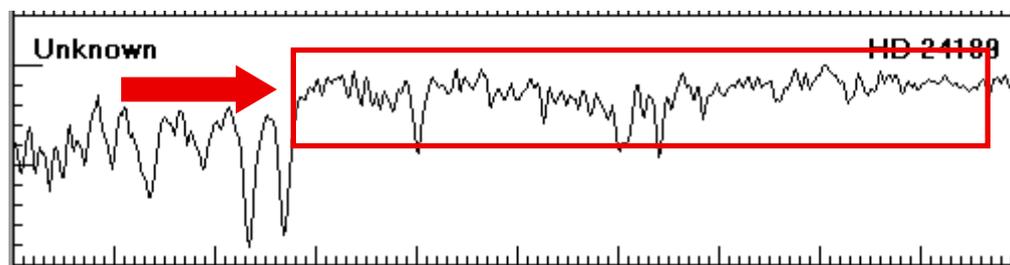


Figura 4.10. Ilustração do espectro observado da estrela *HD 24189* da Atividade *The Classification Stellar of Spectra*.

A partir de uma observação mais detalhada do referido espectro, nota-se uma sequência de picos (em destaque) que facilmente se confundem em intensidade, o que pode ter induzido os estudantes ao erro quanto a localização do pico de intensidade máxima, e conseqüentemente ter interferido diretamente na classificação de seu tipo espectral. Assim, acredita-se que essa seja a hipótese mais relevante para justificar o índice mais elevado de desvio padrão para as respostas dadas para a classificação de *HD 24189*.

Na última etapa referente à *Atividade 3* da SD, os estudantes localizaram, a partir do comprimento de onda, as três linhas em absorção mais proeminentes de cada um dos treze espectros padrão do atlas de comparação, ao tempo em que identificaram o elemento (fonte) que provocou cada uma dessas linhas, conforme mostra a Figura 4.11.

A Tabela 4.5 apresenta os valores observados pelos estudantes. Nela, os valores de mediana para os comprimentos de onda referente a cada linha em absorção observada pelos estudantes estão identificados como *L1*, *L2* e *L3*, enquanto os valores de referência considerados pelo programa estão identificados como *L1* (CLEA), *L2* (CLEA) e *L3* (CLEA).

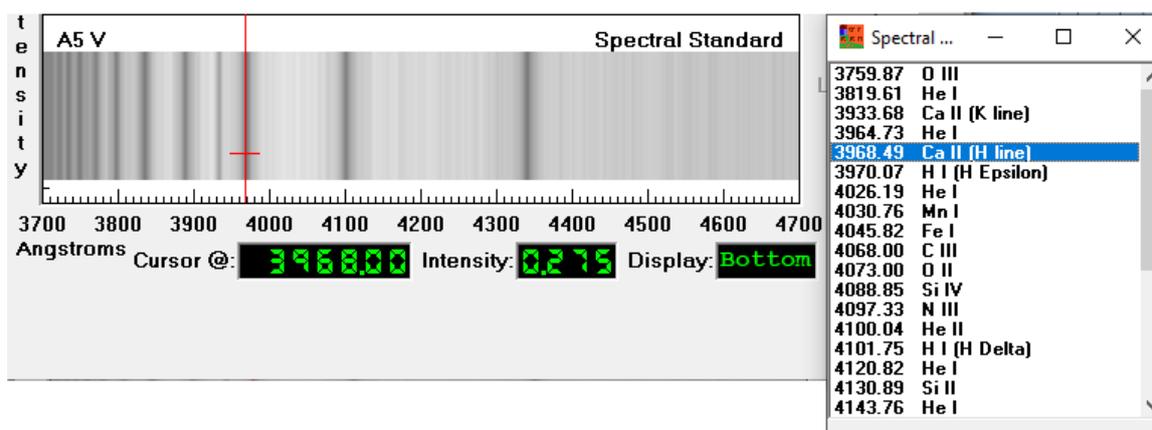


Figura 4.11. Ilustração de um dos espectros observados pelos estudantes em resposta ao passo 13 da Atividade *The Classification Stellar of Spectra*.

Tabela 4.5. Valores de mediana dos comprimentos de onda das três linhas mais proeminentes dos espectros padrão observados pelos estudantes e os respectivos valores de referência da Atividade 3 da SD.

Tipo	L1	Desvio	L2	Desvio	L3	Desvio	L1 (CLEA)	L2 (CLEA)	L3 (CLEA)
O5V	3968.5	47.9	4100.0	60.9	4340.0	111.8	4342.0	4104.0	3970.0
B0V	3892.0	68.2	3970.0	96.3	4340.0	158.1	3970.0	3888.0	3834.0
B6V	3964.7	138.6	4097.0	89.3	4340.0	158.6	4338.0	3968.0	3836.0
A1V	3964.7	132.4	4100.0	68.2	4340.0	143.4	3834.0	3888.0	3970.0
A5V	3966.0	140.5	4101.0	77.3	4340.0	159.0	3970.0	3834.0	3888.0
F0V	3968.5	121.6	3972.0	73.4	4340.0	164.6	3970.0	3932.0	3834.0
F5V	3933.0	141.5	3968.0	46.8	4102.0	183.9	3934.0	3970.0	3836.0
G0V	3834.0	74.7	3933.7	82.9	3968.5	174.7	3970.0	3934.0	3936.0
G6V	3832.0	77.3	3933.7	55.9	3966.0	167.9	3934.0	3970.0	3836.0
K0V	3819.0	86.7	3933.7	94.6	3968.0	198.4	3732.0	3746.0	3932.0
K5V	3834.0	81.7	3964.0	93.2	4100.0	168.1	3966.0	3932.0	3840.0
M0V	3968.5	183.5	4101.8	174.1	4226.7	200.8	4226.0	3960.0	3738.0
M5V	3968.5	164.5	3964.7	141.9	4228.0	83.7	4226.0	3858.0	3958.0

Diante dos resultados apresentados na Tabela 4.5 observam-se alguns valores de desvio padrão relativamente altos, e em alguns casos, mais de um conjunto de valores de desvio padrão para uma mesma linha em absorção merecem destaque,

como é o caso do tipo espectral *M0V*. Nota-se que os três grupos de mediana apresentaram valores consideráveis de desvio padrão. A explicação para tal ocorrência pode estar no fato do espectro desse tipo apresentar várias linhas em absorção com intensidades aparentemente muito próximas (ver Figura 4.12), o que em princípio dificultaria a identificação das linhas mais proeminentes conforme solicitado nessa atividade.

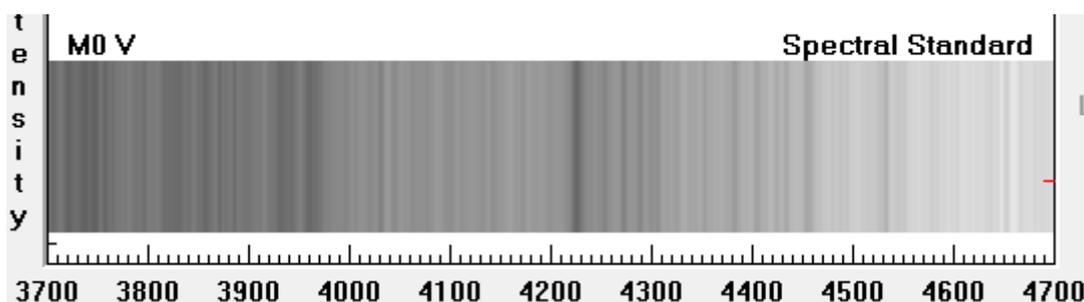


Figura 4.12. Ilustração do espectro do tipo *M0V* observado pelos estudantes em resposta ao passo 13 da Atividade *The Classification Stellar of Spectra*.

Outra evidência desse aspecto, é que o espectro que apresentou os menores valores de desvio foi o do tipo *O5V*, cuja imagem (ver Figura 4.13) apresenta linhas mais bem definidas, embora menos intensas, o que supostamente facilitou a identificação das linhas mais proeminentes.

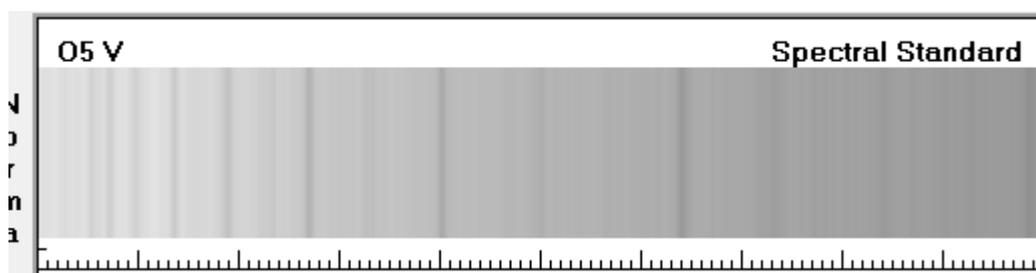


Figura 4.13. Ilustração do espectro do tipo *O5V* observado pelos estudantes em resposta ao passo 13 da Atividade *The Classification Stellar of Spectra*.

4.2. ATIVIDADE 4 – RECONHECENDO ESPECTROS

Na atividade seguinte da Sequência Didática *Espectrando* os estudantes reconheceram o tipo espectral de cinco estrelas por meio de comparação com sete modelos representativos, um para cada tipo, segundo a Classificação de Harvard.

Na Tabela 4.6 apresenta-se o número de ocorrências de respostas atribuídas pelos estudantes para cada tipo espectral, destacando-se entre parênteses o tipo correto para cada uma delas, de acordo com o indicado pelos *Templates de Pickles*.

Tabela 4.6. Tipos espectrais atribuídos pelos estudantes aos 5 espectros desconhecidos da *Atividade 4* da SD.

Estrela	Tipo espectral						
	O	B	A	F	G	K	M
1	0	(2)	9	0	0	0	0
2	0	0	0	2	(9)	0	0
3	1	4	(6)	0	0	0	0
4	(11)	0	0	0	0	0	0
5	0	0	7	(4)	0	0	0

De acordo com os resultados apresentados acima, para a classificação da *Estrela 1* quase 82% dos estudantes atribuíram o tipo espectral *A* quando na verdade trata-se de uma estrela do tipo *B* e subtipo 9. Dessa forma, é razoável associar o erro cometido ao fato da estrela se encontrar no subtipo mais tardio da Classificação de Harvard (... *B5, B6, B7, B8, B9, A0, A1, A2...*), se aproximando ao tipo espectral *A*, o mais citado.

Para a *Estrela 2*, 82% dos estudantes atribuíram corretamente o tipo espectral *G*. Enquanto 18% deles acreditava se tratar de uma estrela *F*, tipo imediatamente anterior na classificação.

Enquanto 54,5% dos estudantes classificou corretamente a *Estrela 3* como sendo do tipo *A*, outros 36,4% acreditava se tratar de uma estrela tipo *B*, fato que assim como no caso da *Estrela 1*, pode ser atribuído à proximidade dos tipos

espectrais na classificação, uma vez que a Estrela 3 é do tipo *A* e subtipo *0*. Apenas 0,1% atribuiu à estrela o tipo espectral *O*.

A *Estrela 4* foi classificada corretamente por 100% dos estudantes, Trata-se de uma estrela do tipo *O* e subtipo espectral *8*. Já a *Estrela 5*, foi identificada como sendo do tipo *A* por 63,3% dos estudantes, quando na verdade é uma estrela do tipo *F* e subtipo *5*. 36,4% dos estudantes identificaram corretamente.

4.3. ATIVIDADE 5 – CONSTRUINDO ESPECTROS COM PROGRAMA COMPUTACIONAL

Nessa atividade cada um dos nove estudantes presentes construiu cinco espectros diferentes utilizando um software livre escolhido e instalado previamente em seus computadores. Para tanto, eles utilizaram arquivos extraídos dos *Templates de Pickles* (ver Capítulo 3), cada um nomeado pela expressão Espectrando seguida de um número (ex. Espectrando 0, Espectrando 1, Espectrando 2, etc.) e distribuídos aleatoriamente entre eles. Em seguida, os estudantes identificaram o tipo de cada espectro plotado, conforme mostra a Figura 4.14.

Com essas informações, novamente fez-se uso da codificação utilizada anteriormente ($O = 0$; $B = 1$; $A = 2$; $F = 3$; $G = 4$; $K = 5$ e $M = 6$). A classificação das respostas obtidas está apresentada na Tabela 4.7.

Tabela 4.7. Número de ocorrências de tipos espectrais atribuídos pelos estudantes que são iguais, próximos ou distantes da classificação espectral adotada pelo SIMBAD como resposta da *Atividade 5* da SD.

Classificação	Ocorrência
Tipos iguais	19
Tipos próximos	21
Tipos distantes	5

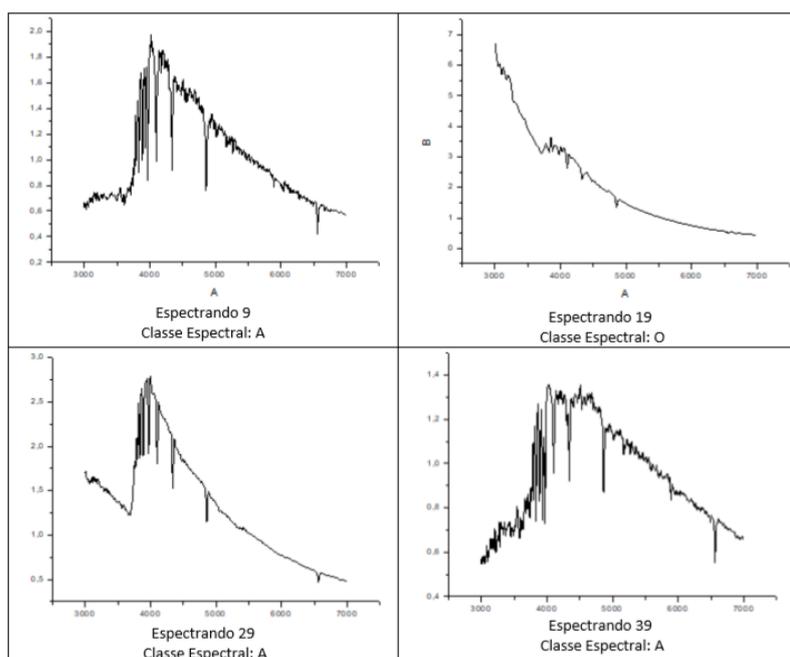


Figura 4.14. Exemplo de espectros construídos e classificados por um estudante como resposta da *Atividade 5* da SD.

A Tabela 4.7 evidencia que dos 45 arquivos elaborados pelos estudantes, cada um contendo um espectro plotado e respectiva classificação, 42,2% tinha a classificação correta da estrela analisada e 46,7% deles atribuíam à estrela uma classificação próxima da esperada. O que significa dizer que, se o espectro obtido está classificado como tipo *F* no SIMBAD, o estudante atribuiu a esse espectro a classificação *A* ou *G*, os dois tipos mais próximos, de acordo com a *Classificação de Harvard*.

Enquanto isso, apenas 11,1% dos arquivos possuía classificação distante da esperada. Ou seja, foi atribuído a esses espectros um tipo diferente dos tipos mais próximos do considerado correto.

4.4. ATIVIDADE 6 – IDENTIFICANDO ESTRELAS NO DIAGRAMA HR

Nessa atividade os nove estudantes presentes estimaram a localização de onze estrelas, de um grupo de vinte mais brilhantes, no Diagrama HR a partir das suas principais características físicas. Para fins de avaliação das respostas obtidas dos estudantes, criamos um sistema de codificação onde cada das onze lacunas existentes

na figura do Diagrama HR (Apêndice 6) foi identificada por um algarismo romano, conforme ilustra a Figura 4.15.

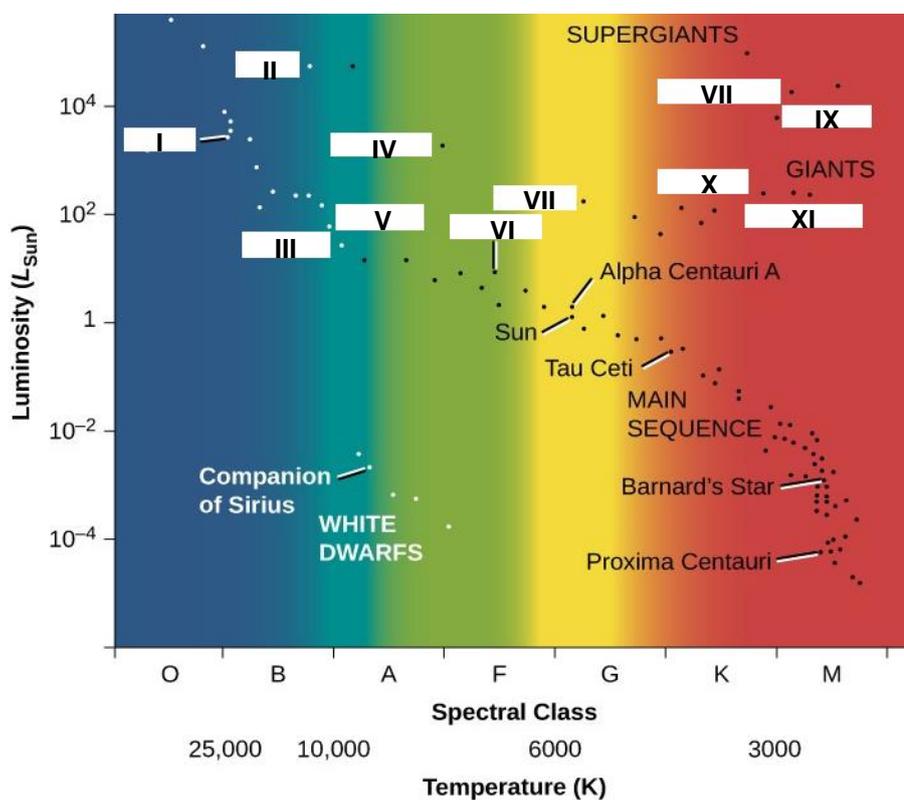


Figura 4.15. Imagem do Diagrama HR utilizado na *Atividade 6* da SD com as lacunas preenchidas pelo sistema de identificação criado para avaliação.

Enquanto isso, cada uma das vinte estrelas disponibilizadas no roteiro distribuído para os estudantes foi identificada por uma letra minúscula do nosso alfabeto. A Tabela 4.8 apresenta a codificação criada para análise dessa atividade.

Após realizada a codificação, fez-se o levantamento do número de ocorrências das estrelas designadas no preenchimento de cada lacuna do diagrama. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.9 onde as respostas corretas aparecem destacadas em **negrito**.

Tabela 4.8. As vinte estrelas mais brilhantes e seus respectivos identificadores de conversão utilizados para avaliação das respostas da *Atividade 6* da SD.

Estrela	Identificador
Sírius	a
Canopus	b
Rigel Kentaurus	c
Arcturus	d
Vega	e
Capella	f
Rigel	g
Procyon	h
Betelgeuse	i
Achermar	j
Hadar	k
Altair	l
Acrux	m
Aldebaran	n
Spica	o
Antares	p
Pollux	q
Fomalhaut	r
Deneb	s
Mimosa	t

Tabela 4.9. Ocorrências das estrelas designadas pelos estudantes para preenchimento de cada lacuna do Diagrama HR como resposta da *Atividade 6* da SD.

Lacuna	Estrelas																			
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
I	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3	0	0	0	1	0	0	0	0	3
II	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1
III	2	0	0	0	3	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IV	0	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
V	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	1	0	2	0	0	0	0	1
VI	0	1	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
VII	0	2	1	0	0	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VIII	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
IX	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0
X	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
XI	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	1	0	0	0	0

Analisando as respostas apresentadas pela Tabela 4.9 pode-se notar que, embora a estrela que preenche corretamente a *Lacuna I* do diagrama seja *Spica*, apenas um estudante respondeu corretamente, enquanto aparecem com maior frequência as estrelas *Hadar* (3) e *Mimosa* (3). Pode-se avaliar esse fato considerando que se trata de estrelas de mesmo tipo espectral, todas elas são classificadas como estrelas do Tipo *B* e de subtipo 1, o que pode justificar a divergência entre as respostas.

No preenchimento da *Lacuna II* a maioria dos estudantes, mais precisamente 55,5% respondeu corretamente, alocando a estrela *Rigel* nessa posição.

Para a *Lacuna III*, houve uma dispersão maior entre as respostas com uma ligeira maioria (33,3%) delas atribuindo a posição à estrela *Vega*, ao tempo em que 22,2% respondeu corretamente se tratar da estrela *Sírius*. Da mesma forma que ocorreu anteriormente, trata-se de duas estrelas de mesmo tipo espectral, ambas são classificadas como estrelas do Tipo *A*.

Entre as respostas para a *Lacuna IV*, 55,5% delas faz referência corretamente a estrela *Canopus*.

Outra situação onde ocorreu uma maior dispersão entre as respostas dadas, foi no preenchimento da *Lacuna V*. Nesse caso, 7 (sete) estrelas diferentes foram apresentadas como resposta correta. Uma maioria discreta de 22,2% acreditou se tratar corretamente que a estrela *Vega* (tipo espectral *A*) deveria ocupar tal posição no Diagrama HR. Por outro lado, o mesmo quantitativo acreditou se tratar da estrela *Spica*, uma estrela do Tipo *B*.

Uma avaliação mais detalhada do diagrama disponibilizado aos estudantes pode justificar tal discrepância. Trata-se da posição da *Lacuna V*, ela está posta no limite entre os tipos espectrais *B* e *A* no diagrama, o que pode ter gerado dúvidas quanto a posição exata da estrela e conseqüentemente pode ter induzido alguns estudantes ao erro.

Para preencher a *Lacuna VI*, 77,8% dos estudantes alocaram corretamente a estrela *Procyon* nessa posição. Enquanto 55,5% responderam corretamente que a estrela *Capella* ocupa a posição da *Lacuna VII*. Nesse caso, outros 22,2% acreditava se tratar do lugar da estrela *Canopus*. Do mesmo modo que anteriormente, a posição da *Lacuna VII* não favorece a identificação por estar localizada entre os tipos espectrais *F* e *G*.

Para a *Lacuna VIII* do diagrama, a maioria (66,7%) dos estudantes respondeu corretamente que se trata do lugar da estrela *Betelgeuse*. No caso da *Lacuna IX*, 77,8% deles alocou corretamente a estrela *Antares*. O mesmo percentual atribuiu para a *Lacuna X* a estrela *Arcturus*. Finalmente, 66,7% dos estudantes preencheu de maneira correta a *Lacuna XI*. Trata-se da posição da estrela *Aldebaran*, de tipo espectral *K*.

4.5. AVALIAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE

Conforme descrito anteriormente, utilizou-se de questionários idênticos como instrumentos de avaliação pré-teste e pós-teste. Tais questionários, adaptados do original disponível no sítio do programa, são compostos por oito questões, metade delas de natureza objetiva e outra metade de natureza descritiva.

Para fins de avaliação, serão analisadas as respostas atribuídas pelos onze estudantes que responderam a ambos os instrumentos. Serão comparadas as respostas dadas pela turma de maneira geral para cada uma das oito questões que compõem os questionários. Somente foram avaliados individualmente os casos discrepantes que mereceram uma análise diferenciada.

4.5.1. Questão 1

Nesse item buscava-se avaliar o conhecimento dos estudantes acerca do método utilizado pelos astrônomos para classificar uma estrela. No questionário pré-teste obteve-se como respostas: um estudante afirmou desconhecer totalmente o assunto e dois outros estudantes apresentaram respostas que embora vagas, podem em princípio ser consideradas como referentes à técnica da espectroscopia, a exemplo da resposta apresentada na Figura 4.16.

1. Você saberia dizer como um astrônomo determina o tipo espectral de uma estrela?

Através da configuração de absorção e emissão dos componentes químicos presentes na estrela e/ou na sua região de posicionamento.

Figura 4.16. Resposta de um estudante à questão 01 do questionário pré-teste.

Enquanto três estudantes apresentam respostas que associam a classificação de uma estrela diretamente à obtenção de seu espectro, os demais (maioria) associam a classificação às características físico-químicas (cor, temperatura) das estrelas, mas não fazem referência ao método de obtenção destas.

A avaliação das respostas do pós-teste para esse mesmo item evidencia uma melhoria significativa no perfil das mesmas. Isso pode ser observado pelos detalhes descritos, antes omitidos, na maioria das respostas. Nenhum estudante afirmou desconhecer totalmente o assunto. Oito estudantes relacionaram a classificação de uma estrela a obtenção e análise de seu espectro. Dentre estes, seis estudantes fizeram referência às linhas em absorção para a classificação estelar, conforme evidencia a Figura 4.17. Os outros três estudantes fizeram referência às características físico-químicas da estrela sem necessariamente relacioná-la ao seu espectro.

1. Você saberia dizer como um astrônomo determina o tipo espectral de uma estrela?

Pela sua composição química e temperatura luminosa.

Figura 4.17. Resposta de um estudante à questão 01 do questionário pré-teste.

4.5.2. Questão 2

No item seguinte, os estudantes escolheram dois dos três espectros apresentados que acreditavam ilustrar estrelas do mesmo tipo espectral. Todos os estudantes responderam corretamente ao item, tanto no questionário pré-teste quanto no pós-teste, escolhendo os espectros das Figuras A e C da atividade como sendo de

estrelas de mesmo tipo espectral. A Figura 4.18 apresenta os espectros escolhidos por eles.

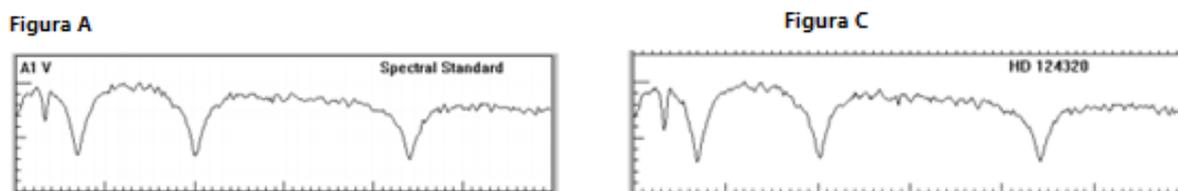


Figura 4.18. Espectros escolhidos pelos estudantes como resposta para a questão 2 dos questionários pré e pós teste.

4.5.3. Questão 3

No item 3 dos questionários os estudantes deveriam escolher, entre os dois espectros apresentados, qual deles representava uma estrela de maior temperatura. A Figura 4.19 apresenta os dois espectros apresentados aos estudantes para tal questão.

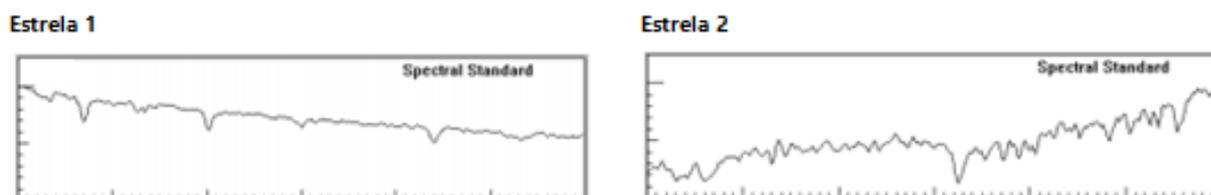


Figura 4.19. Espectros apresentados aos estudantes para escolha da estrela de maior temperatura como resposta ao item 3 dos pré e pós-teste da SD.

As respostas atribuídas a esse item estão apresentadas nas tabelas 4.10 e 4.11, respectivamente, onde a resposta correta aparece em destaque entre parênteses.

Tabela 4.10. Ocorrência das respostas dos estudantes para a questão 3 do questionário pré-teste da SD.

Estrela	Ocorrência
1	(5)
2	6

Tabela 4.11. Ocorrência das respostas dos estudantes para questão 3 do questionário pós-teste da SD.

Estrela	Ocorrência
1	(8)
2	3

A comparação entre as respostas dadas para esse item, sugere um favorecimento na compreensão da relação existente entre o espectro de uma estrela e sua temperatura, uma vez que no pré-teste 45,5% dos estudantes identificaram corretamente a estrela mais quente, enquanto no pós-teste essa amostra foi de 72,7%.

4.5.4. Questão 4

O item 4 trata de uma questão descritiva na qual os estudantes foram questionados quanto a relação entre tempo de exposição e luminosidade das estrelas.

Em resposta ao item, no pré-teste cinco estudantes declararam não saber responder tal questão. Dentre os que responderam, três relacionaram o tempo de exposição à quantidade de fótons coletados para obtenção do espectro. Outros dois estudantes relacionaram o brilho das estrelas a sua temperatura, afirmando que estrelas menos brilhantes, possuem temperatura menor, enquanto um último estudante relacionou o menor brilho a uma distância menor da estrela em relação à Terra.

A avaliação das respostas do pós-teste mostrou que o número de estudantes, que declararam não saber responder a questão diminuiu, apenas dois deles. Da mesma forma que aconteceu no pré-teste, três estudantes relacionaram o tempo de exposição à quantidade de fótons coletados, afirmando que estrelas menos brilhantes, emitem uma menor “quantidade de luz” e por isso exigem um tempo maior para obtenção de seu espectro.

Um estudante relacionou o tempo de exposição a uma determinada “facilidade” que as estrelas mais brilhantes possuem em apresentar espectros mais “definidos” e conseqüentemente mais fáceis de analisar. Os outros cinco estudantes relacionaram o brilho das estrelas às linhas em absorção de seus espectros, afirmando haver uma maior distinção entre as linhas presentes nos espectros das estrelas mais brilhantes, sem necessariamente relacionar tal característica ao tempo de exposição.

4.5.5. Questão 5

Para responder a essa questão os estudantes assinalaram entre as características listadas: *Luminosidade*, *Distância*, *Temperatura*, *Magnitude aparente*, *Magnitude absoluta* e *Composição química*, quais delas são coincidentes para duas estrelas de mesmo tipo espectral.

A questão não limitava a quantidade de características a serem escolhidas, portanto os estudantes poderiam marcar duas ou mais propriedades. As tabelas 4.12 e 4.13 apresentam respectivamente, as ocorrências das respostas dadas pelos estudantes nos questionários de pré e pós-teste.

Tabela 4.12. Ocorrência das respostas dos estudantes para a questão 5 do questionário pré-teste da SD.

Característica	Ocorrência
Luminosidade	2
Distância	2
Temperatura	10
Magnitude aparente	3
Magnitude absoluta	0
Composição química	8

Tabela 4.13. Ocorrência das respostas dos estudantes para a questão 5 do questionário pós-teste da SD.

Característica	Ocorrência
Luminosidade	6
Distância	0
Temperatura	11
Magnitude aparente	2
Magnitude absoluta	3
Composição química	11

No questionário de pré-teste, as características *Temperatura* e *Composição química* aparecem como as propriedades as mais citadas. A primeira foi escolhida por quase 91% dos estudantes enquanto a segunda foi citada por 72,7% deles. A *Magnitude aparente* foi escolhida em 27,2% das respostas, ao tempo em que *Luminosidade* e *Distância* aparecem na mesma proporção, em 18% delas. A *Magnitude absoluta* foi a única propriedade não escolhida.

No pós-teste a *Temperatura* e a *Composição química* continuaram sendo as propriedades mais escolhidas, dessa vez por 100% estudantes. Em segundo lugar, 54,5% dos estudantes acreditavam que a *Luminosidade* é uma característica comum para estrelas de mesmo tipo espectral. O percentual de estudantes que acredita que a *Magnitude absoluta* é coincidente para estrelas de mesmo tipo aumentou e essa propriedade aparece em 27,2% das respostas enquanto o percentual para a *Magnitude aparente* diminuiu, aparecendo em 18% delas. Nessa atividade a distância não foi escolhida.

A Classificação de Harvard agrupa as estrelas levando em consideração a sua temperatura, o que significa que estrelas de mesmo tipo espectral, possuem temperaturas próximas ou coincidentes. Os espectros de estrelas de mesmo tipo apresentam o mesmo padrão de linhas em absorção, ou seja, posicionadas nos mesmos comprimentos de onda e normalmente com a mesma intensidade. Como tais linhas são provocadas pelos elementos que compõem a fotosfera da estrela, pode-se concluir que a composição química de estrelas de mesmo tipo é praticamente a mesma.

As demais propriedades citadas, não tem relação direta ao tipo espectral de uma estrela.

4.5.6. Questão 6

Nessa questão foi perguntado aos estudantes quais são os dados que os astrônomos precisam ter para determinar a distância de uma estrela, além de seus espectros.

No questionário de pré-teste três estudantes afirmaram não saber responder a tal questão. A resposta mais recorrente foi a *Luminosidade*, citado por quatro estudantes como um dado necessário para determinação da distância de uma estrela. A *magnitude aparente* foi citada em duas respostas, enquanto outros dados apareceram uma vez cada, a saber: *paralaxe*, *Redshift*, *raios infravermelhos*, *tempo*, *tamanho*, *extinção do meio*.

No pós-teste a *Luminosidade* continuou aparecendo com maior frequência, assim como a *Magnitude absoluta*, ambas citadas por seis estudantes como dados

necessários para se determinar a distância de uma estrela. A *magnitude aparente* e a *temperatura* foram citadas por quatro estudantes, enquanto a *composição química* e a *paralaxe* apareceram em uma resposta cada.

4.5.7. Questão 7

Nesse item da atividade os estudantes destacaram no Diagrama HR (Figura 4.20) as estrelas de maior e menor massa dentre as três em destaque (*Archemar*, Sol e *Próxima Centauri*) a partir de suas posições no diagrama.

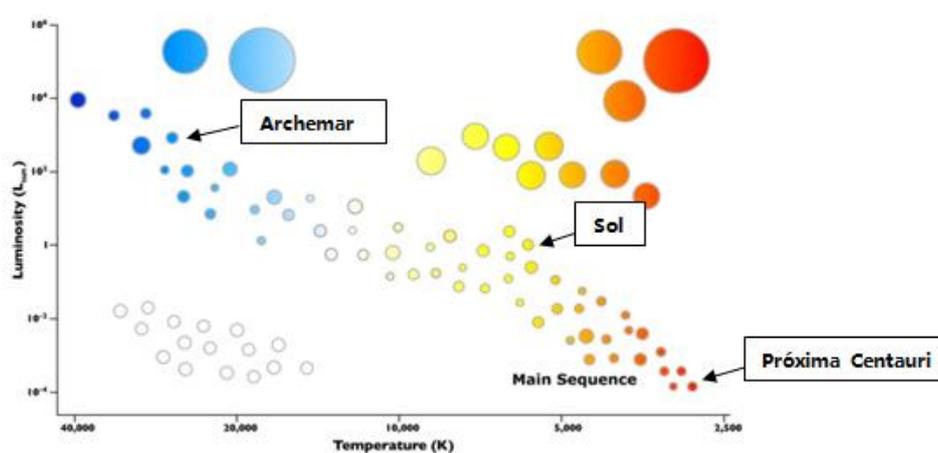


Diagrama HR. Fonte: <http://lcoqt.net/en/book/h-r-diagrams>

Figura 4.20. Diagrama HR disponibilizado na questão 7 dos questionários pré e pós-teste da SD.

As respostas fornecidas nos questionários pré-teste estão apresentadas na Tabela 4.14.

Tabela 4.14. Ocorrência das respostas dos estudantes para a questão 7 do questionário pré-teste da SD.

Característica	Ocorrência		
	Archemar	Sol	Próxima Centauri
Maior massa	4	2	5
Menor Massa	3	3	5

Durante a realização da atividade um estudante deixou de identificar a estrela de menor massa. As respostas dadas nos questionários pós-teste estão apresentadas na Tabela 4.15.

Tabela 4.15. Ocorrência das respostas dos estudantes para a questão 7 do questionário pós-teste da SD.

Característica	Ocorrência		
	Archemar	Sol	Próxima Centauri
Maior massa	6	4	1
Menor Massa	1	1	9

Da relação entre Massa e Luminosidade podemos associar cada ponto da Sequência Principal a um valor de massa, logo a Sequência Principal de um Diagrama HR é uma sequência de massas estelares, onde: *Massa de Archemar* > *Massa do Sol* > *Massa da Próxima Centauri*.

De acordo com o apresentado nas tabelas 4.14 e 4.15, aproximadamente 36,4% dos estudantes acertaram ao apontar a estrela *Archemar* como a de maior massa entre as estrelas em destaque no diagrama em resposta ao pré-teste. Para o questionário pós-teste esse universo aumentou para 54,5%.

No questionário de pré-teste 45,4% dos estudantes acreditava que *Próxima Centauri* é a estrela que possui menor massa entre as três em destaque, enquanto que no pós-teste 81,8% deles apresentaram tal resposta.

4.5.8. Questão 8

No último quesito dos questionários os estudantes compararam algumas características físicas, relacionadas à temperatura, ao tamanho e à luminosidade do Sol às de outras estrelas, respondendo se o Sol é quente ou frio, grande ou pequeno e luminoso ou fraco.

De acordo com Kepler & Saraiva (1994) as estrelas têm temperaturas entre 0,5 e 10 vezes a temperatura do Sol, tamanhos que variam entre 10^{-2} e 10^3 o tamanho do Sol e luminosidades que variam entre 10^{-4} a 10^6 a luminosidade do Sol. Assim o Sol

pode ser considerado como uma estrela mediana. As ocorrências das respostas estão apresentadas nas tabelas 4.16 e 4.17, respectivamente.

Tabela 4.16. Ocorrência das respostas dos estudantes para a questão 8 do questionário pré-teste da SD.

Característica	Ocorrência
Quente	3
Frio	7
Grande	2
Pequeno	9
Luminoso	3
Fraco	7

Entre as respostas atribuídas a essa item no questionário pré-teste observou-se a ocorrência de uma resposta atribuindo ao Sol, temperatura e luminosidade medianas.

Tabela 4.17. Ocorrência das respostas dos estudantes para a questão 8 do questionário pós-teste da SD.

Característica	Ocorrência
Quente	0
Frio	7
Grande	0
Pequeno	9
Luminoso	1
Fraco	7

Por fim, durante a análise dos questionários pós-teste observou-se a ocorrência de três respostas que atribuíam ao Sol uma temperatura intermediária; duas respostas que apontavam o Sol como uma estrela de tamanho médio e uma resposta que afirmava que a nossa estrela possui luminosidade mediana. Além disso, como mostra a Tabela 4.17 nenhum estudante apontou o Sol como uma estrela quente ou de tamanho grande.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Nesse trabalho apresentou-se a Sequência Didática *Espectrando* como uma alternativa pedagógica que pode contribuir para a promoção de um ensino de Astronomia eficaz, a partir da instrumentalização de um grupo de professores. Isso porque, conforme abordamos anteriormente, a dificuldade encontrada por muitos deles para o ensino de conteúdos relacionados a essa ciência está diretamente relacionada à formação dos mesmos. Assim, avaliamos esse trabalho como uma iniciativa que contribui para a prática pedagógica e que em alguma medida pode colaborar na formação específica de professores nessa área do conhecimento.

O desenvolvimento e a aplicação da SD permitiram a identificação de fatores que atestaram a eficácia da proposta, e de outros que indicaram a necessidade de adequação da mesma.

O primeiro aspecto positivo pode ser observado no momento da apresentação da proposta aos estudantes, semanas antes do primeiro encontro com a turma, ocasião em que os estudantes se mostraram bastante receptivos a realização das atividades. A aceitação das atividades se manteve em todos os encontros com a turma. De maneira geral, os estudantes se mostraram dedicados, envolvendo-se efetivamente na execução de todas as atividades aplicadas. O espírito de cooperação entre os colegas pode ser evidenciado nos momentos de colaboração espontânea entre os mesmos, inclusive durante a realização de atividades planejadas para serem desempenhadas individualmente.

Avaliamos a diversidade de formação acadêmica da turma como um fator enriquecedor na avaliação da sequência, uma vez que os estudantes que possuíam formação nas áreas de Ciências Naturais e/ou Exatas exerceram uma função importante na orientação dos outros, quando em algum momento encontraram dificuldade na realização de determinada tarefa, desde a compreensão de alguns conceitos específicos tratados, até execução do programa de laboratório virtual.

Durante a realização da *Atividade 2* da SD, os estudantes adotaram uma postura participativa, se mantendo atentos à exposição da fundamentação teórica com alguns momentos de interação, esclarecendo dúvidas e acrescentando informações relevantes diretamente relacionadas com o assunto tratado. O que nos leva a acreditar

que os conteúdos escolhidos e a abordagem adotada estavam adequados ao público ao qual se destinavam, mesmo quando se tratou de tópicos específicos desconhecidos por alguns deles, a exemplo das Leis de Kirchhoff; do surgimento das linhas espectrais e da radiação de corpo negro. Isso porque trata-se de conteúdos normalmente não abordados na Educação Básica e apenas explorados em áreas específicas da formação superior.

Exatamente por esse motivo, acreditamos que um aspecto importante a ser avaliado nessa atividade é o tempo destinado para a sua realização. Isso porque, a quantidade de assuntos específicos abordados contribuiu para uma apresentação superficial de alguns tópicos que em nossa avaliação deveriam ser tratados com maior profundidade. Uma alternativa possível seria a fragmentação da fundamentação teórica para apresentação em diferentes momentos, o que possivelmente contribuiria para um maior aprofundamento e melhor compreensão dos conteúdos.

Como forma de enriquecimento da Sequência Didática, recomendamos ao professor ir além da apresentação de uma sugestão de atividade prática, como o ocorrido na fundamentação teórica (Atividade 2). Sugerimos a execução junto com a turma de uma atividade experimental diretamente relacionada aos conteúdos apresentados, como é o caso da construção e funcionamento de um espectrógrafo de baixo custo. Roteiros que orientam a realização desse tipo de atividade são facilmente encontrados²³. Sugerimos ainda uma exposição teórica mais detalhada que evidencie a relação entre espectroscopia e Física Moderna.

A atividade de laboratório virtual *The Classification of Stellar Spectra*, nomeada como *Atividade 3* na SD, solicitou um tempo de execução maior do que o planejado inicialmente. A dificuldade de alguns estudantes na instalação do programa computacional do CLEA e a pouca habilidade com a execução de alguns passos do mesmo atrasou a realização da atividade.

Em contrapartida, as dificuldades ocasionalmente apresentadas colaboraram para uma maior interação entre os estudantes, que tiveram a liberdade de auxiliar os colegas, fomentando a troca de saberes e experiências e por consequência favorecendo o aprendizado dos conteúdos abordados, aspectos que puderam ser

²³ Alguns exemplos encontram-se disponíveis em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5165589.pdf>; <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p1026>.

evidenciados a partir dos resultados satisfatórios obtidos em todas as etapas da *Atividade 3*.

A realização da *Atividade 4* também apresentou resultados satisfatórios, uma vez que a maioria dos estudantes conseguiu identificar corretamente o tipo de uma estrela de espectro desconhecido por comparação com outro de referência. Aliado a isso, durante a realização da atividade observamos que muitos estudantes além de utilizar os espectros de referência disponibilizados, retomaram os conceitos apresentados durante a *Atividade 2* para proceder com a identificação dos espectros desconhecidos.

Aspectos como a localização do pico de intensidade máxima do espectro e sua relação com a temperatura foram lembrados por alguns deles como parâmetro de identificação do tipo espectral. No entanto, para outros estudantes, a relação entre esses conceitos e atividade proposta não era tão evidente, o que nos permite avaliar a necessidade de retomada de alguns aspectos teóricos antes do início da aplicação da atividade e reforça a sugestão apresentada anteriormente de fragmentação da fundamentação teórica em momentos diferentes.

Para a *Atividade 5* de elaboração de espectros com programa computacional, 88,9% dos espectros gerados apresentavam classificação correta ou muito próxima do esperado, o que nos leva a avaliar positivamente seus resultados. Nas situações onde a forma do espectro possa causar uma dificuldade na estimativa do tipo espectral da estrela, uma alternativa viável seria a implementação do ajuste de uma função de corpo negro no intervalo estudado.

Além das evidências quantitativas observadas, outro aspecto importante a ser considerado é o fato de que a realização da atividade proporcionou para alguns estudantes uma primeira experiência no uso de programa dessa natureza para construção de gráficos. Fato que em alguma medida também representou uma dificuldade na realização da mesma, uma vez que demandou uma supervisão direcionada para alguns deles.

A *Atividade 6* de preenchimento do Diagrama HR foi a que nos trouxe os resultados mais controversos, em virtude da dispersão das respostas apresentadas. Algumas razões para esse fato devem ser consideradas a fim de adequá-la numa possível reaplicação. São elas: o fato dos aspectos teóricos a respeito do Diagrama HR terem sido apresentados num curto intervalo de tempo durante a fundamentação

teórica, como já citado; e a localização inadequada de algumas lacunas na imagem do diagrama, que em alguns momentos geraram dúvidas nos estudantes e possivelmente os induziram ao erro. Dessa forma, recomendamos uma melhor disposição das lacunas no diagrama de maneira a identificar precisamente a localização de cada uma delas a fim de evitar equívocos de interpretação.

A avaliação dos questionários pré-teste e pós-teste sugeriu uma evolução qualitativa no conteúdo das respostas dadas pelos estudantes em quase todos os quesitos. Dessa forma, todos os resultados obtidos nos permitem realizar uma avaliação positiva da proposta, ainda que reconheçamos o fato de que nem todas as expectativas tenham sido atendidas e que adaptações são necessárias a fim de se adequar ao contexto educacional de outras turmas.

Outro aspecto positivo a ser considerado, é que apesar do universo de nossa amostragem não seja muito amplo, pode ser considerado qualificado por ser composto por alunos do Mestrado Profissional, e conforme observado, a interação com os mesmos trouxe um aporte no aperfeiçoamento da nossa proposta.

Diante dessas considerações, concluímos que a proposta da Sequência Didática “Espectrando” cumpriu o seu principal objetivo de se apresentar como uma importante alternativa didática para o professor no processo de ensino-aprendizagem de temas relacionados à Astronomia.

Acreditamos ainda que esse trabalho foi importante para motivar os professores a repensar a forma como os conteúdos de Astronomia são abordados em sala de aula, fato que pode ser evidenciado quando em algumas ocasiões, durante os encontros, alguns estudantes refletiram se conseguiriam reproduzir a atividade no seu ambiente escolar com seus alunos e ainda, se essa metodologia poderia ser aplicada ao estudo de outros conteúdos específicos de sua área de formação, o que nos leva a crer que outro objetivo dessa proposta foi alcançado ao contribuir para fomentar a utilização de novas estratégias e metodologias no processo de ensino-aprendizagem de conteúdos de Astronomia na Educação Básica.

Por fim, acreditamos que a Sequência Didática desenvolvida e aplicada no âmbito da Dissertação, pode suprir algumas lacunas existentes não apenas no ensino de Astronomia, mas no de Física Moderna, trazendo Astronomia como um agente motivador. O seu uso, em parte ou de forma integral pelos interessados pode ser um forte aliado no ensino desses conteúdos, uma vez que conta com uma boa diversidade

de recursos e de atividades, desde as manuais até as que necessitam do uso de computador.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, M. C.; FUSINATO, P. A.; RAMOS, F. P. A formação de professores dos anos iniciais para o ensino de Astronomia no estado do Paraná. *Revista Ensino & Pesquisa*, v.14, n.02, p. 214-231, jul/dez 2016.
- BERNARDES, T. O.; IACHEL, G.; SCALVI, R. M. F. Metodologia para o ensino de Astronomia e Física através da construção de telescópios. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 25, n. 1, p. 103-117, abr. 2008.
- BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs). Ciências. Ensino Fundamental. Terceiro e quarto ciclos. Brasília: MEC/SEF, 1998.
- _____. Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+). Ciências da Natureza e Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEF, 2006.
- _____. Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Brasília: MEC, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNC_C_20dez_site.pdf. Acesso em: 22 ago. 2019.
- BRETONES, P. S. Disciplinas Introdutórias de Astronomia nos Cursos Superiores do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 1999.
- FILHO, K. S. O.; SARAIVA, M. F. Astronomia e Astrofísica. Porto Alegre. UFRGS - Instituto de Física, 1994.
- GOETTEMS, E. I. Uma Sequência Didática com enfoque na Astronomia para o Ensino Médio. 2017. Monografia – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- GONÇALVES, A. V.; FERRAZ, M. R. R. Sequências Didáticas como instrumento potencial da formação docente reflexiva. *DELTA* [online]. 2016, vol.32, n.1, pp.119-141. ISSN 0102-4450. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-445027474109576182>>. Acesso em: 30 ago. 2019.
- IACHEL, G. Um estudo exploratório sobre o ensino de Astronomia na formação continuada de professores. 2009. 229 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2009.

- LANGHI, R. Educação em Astronomia e formação continuada de professores: a interdisciplinaridade durante um eclipse lunar total. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, n. 7, p. 15-30, 2009.
- LANGHI, R.; NARDI, R. Dificuldades interpretadas nos discursos de professores dos anos iniciais do Ensino Fundamental em relação ao da Astronomia. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, n. 2, p. 75 - 92, 2005.
- LANGHI, R.; NARDI, R. Formação de professores e seus saberes disciplinares em Astronomia essencial nos anos iniciais do Ensino Fundamental. *Revista Ensaio*, Belo Horizonte, v. 12, n. 2, p. 205 - 224, 2010.
- LANGHI, R. Educação em Astronomia: da revisão bibliográfica sobre concepções alternativas à necessidade de uma ação nacional. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 28, n. 2, p.373 - 399, 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n2p373>>. Acesso em: 27 set. 2019.
- LEITE, C.; HOSOUME, Y. O professor de Ciências e sua forma de pensar a Astronomia. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, v. 4, p. 47- 68, 2007.
- MACIEL, W. J. *Astronomia e Astrofísica*, São Paulo, EdUSP, 1997.
- MARSCHALL, L.; SNYDER, G.; COOPER, R.; HAYDEN, M.; GOOD, R.; HOFMAN, H. *CLEA - Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy*. Gettysburg College, 1994.
- MANNARINO, R. Harém de Pickering: mulheres geniais. Postado em 26 de outubro de 2011. Disponível em: <http://ohomemhorizontal.blogspot.com/2007/06/harm-de-pickering.html>. Acesso em: 10 set. 2019.
- NAPOLEÃO, T. A. J. *Astrofísica Estelar para o Ensino Médio: uma abordagem empírica baseada na observação visual das estrelas variáveis*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2018. Disponível em: https://www.iag.usp.br/pos/sites/default/files/d_tasso_a_j_napoleao_original.pdf. Acesso em: 02 set. 2019.
- NEWMAN, A. Esquecidas pelos livros, descobertas de astrônomas pioneiras de século 19 são resgatadas em Harvard. *BBC News Brasil*, 2 set. 2017. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-41091733>>. Acesso em: 10 set. 2019.

- SANTOS, E. F.; SANTOS, J. O.; SANTOS, I. F. Astronomia: uma experiência em que as mulheres atuam como protagonistas. *Revista Temas em Educação*, João Pessoa, v. 27, n. 2, p. 134 - 151, 2018.
- SANTOS, L. C. Sequência Didática para o ensino de astronomia utilizando a internet como ferramenta metodológica através de site sobre Astronomia: fenômenos astronômicos terrestres presentes no nosso dia a dia. *Caderno PDE*, Curitiba, vol. 1, 2013.
- SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A nova teoria sobre luz e cores de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 18 (4): 313 – 327, 1996.
- SILVA, J. R. N.; FILHO, M. P. S.; ARAYA, A. M. O. LINO, A.; MELQUES, P. M. As interações discursivas entre professores de Física em um grupo de formação continuada de professores sobre a temática Teoria da Relatividade. In: *Simpósio Latino Americano e Caribenho de Educação em Ciências do International Council of Associations for Science Education (ICASE), IV.*, 2011, Londrina. Anais... Londrina, Brasil.
- VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. Ensinando Física Moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.15, n.2, pp.121-135, ago. 1998.
- VALVERDE, C.; BASEIA, B.; BAGNATO, VS. Mecanismos de alargamento de linhas espectrais atômicas. *Rev. Bras. Ensino Físico*. [conectados]. 2016, vol.38, n.4 [citado 2020-04-27], e4302.
- ZABALA, Antoni. *A prática educativa: como ensinar*. Porto alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE 1 – MODELO DO QUESTIONÁRIO PRÉ-TESTE – ATIVIDADE 1



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA – UEFS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
Mestrado Profissional



Estudante: _____ **Data:** ____/____/____

SEQUÊNCIA DIDÁTICA “*Espectrando*”

Pré-teste

1. Você saberia dizer como um astrônomo determina o tipo espectral de uma estrela?

2. Abaixo estão apresentados espectros de três estrelas. Dentre elas duas possuem o mesmo tipo espectral, circule-as.

Figura A



Figura B

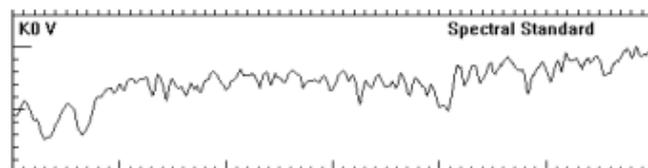
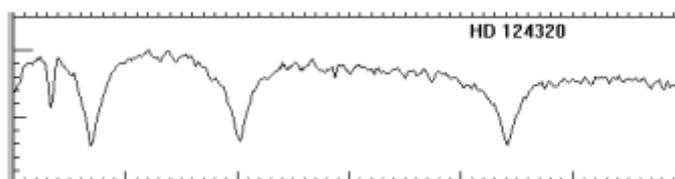


Figura C



3. Observando os gráficos, determine qual das duas estrelas abaixo possui maior temperatura. Circule a resposta correta.

Estrela 1



Estrela 2



4. Ao coletar espectros, por que os astrônomos expõem por mais tempo estrelas menos brilhantes do que para as estrelas mais brilhantes?

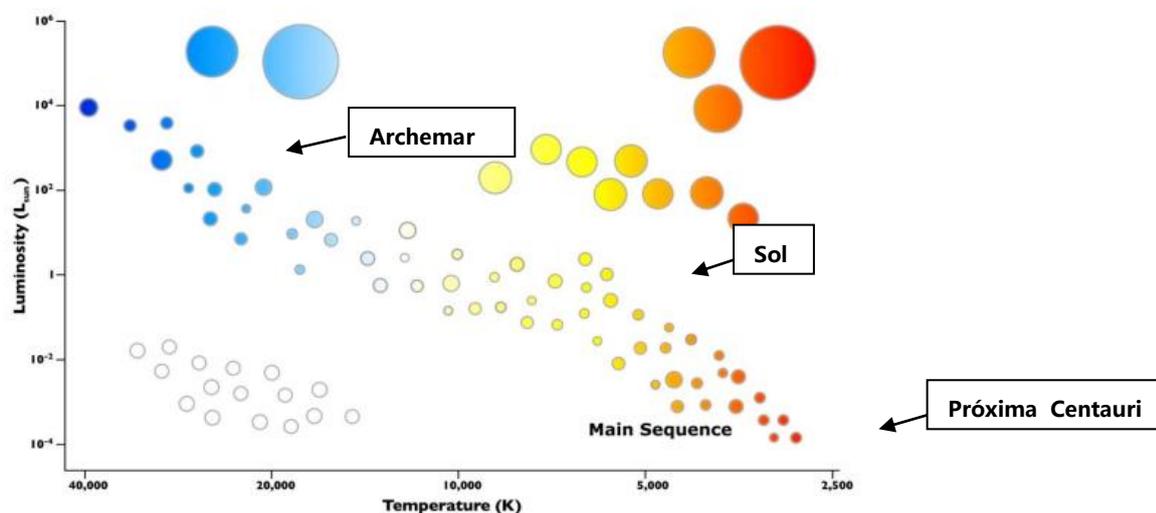
5. Dentre as características listadas abaixo, marque aquelas que são coincidentes para duas estrelas de mesmo tipo espectral.

- Luminosidade
- Distância
- Temperatura

- Magnitude aparente
- Magnitude absoluta
- Composição química

6. Além dos espectros, que dados os astrônomos precisam ter para determinar a distância de uma estrela?

7. Dentre as estrelas destacadas no Diagrama HR abaixo, circule aquela que possui maior massa e marque com um X aquela que possui menor massa.



8. Comparado à outras estrelas, o Sol é quente ou frio? É grande ou pequeno? É luminoso ou fraco?

APÊNDICE 2 – APRESENTAÇÃO DA FUND. TEÓRICA – ATIVIDADE 2

ESPECTRANDO:

Uma Sequência Didática para estudar classificação estelar

Tatiane Bitencourt Barreto

Orientador:
Prof. Dr. Eduardo Brescansin de Amôres
Coorientadora:
Prof. Dra Ana Carla Peixoto Bittencourt

OBJETIVO GERAL

Avaliar as contribuições de uma sequência didática para a identificação e classificação de estrelas de diferentes tipos em um Curso de Formação Continuada para professores da Educação Básica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Construir uma sequência didática utilizando atividade do CLEA e aplicativo computacional para o estudo das características físico-químicas de estrelas;
- Instrumentalizar um grupo de professores para utilização de recursos didáticos pedagogicamente adequados para o ensino de conteúdos específicos de Astronomia;
- Motivar os professores a repensar a forma como os conteúdos de Astronomia são abordados em sala de aula;
- Fomentar a utilização de novas estratégias e metodologias no processo de ensino-aprendizagem de conteúdos de Astronomia na Educação Básica.

O que é uma Sequência Didática?

“Um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos.”

Zabala, 1998.



Antoni Zabala

O QUE É ESPECTROSCÓPIA?

É o conjunto de métodos para análise de substâncias, baseados na produção e interpretação de seus espectros de emissão ou absorção de radiações eletromagnéticas (ex. nas regiões do infravermelho, ultravioleta, raios x, visível etc.)



Fig. 10.10 Espectro de dispersão da luz branca. O espectro da luz branca é composto de luz de todas as frequências, desde o infravermelho até o ultravioleta.

HISTÓRICO

Isaac Newton e a dispersão da luz (1666-69)



ALGUMAS CONTRIBUIÇÕES



LEIS DE KEICHLIOPF

> Um corpo opaco quente, sólido, líquido ou gasoso, emite um espectro contínuo.



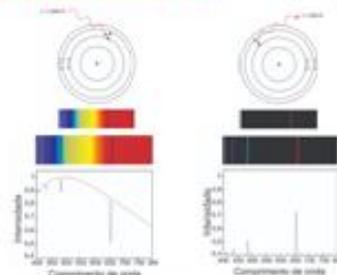
> Um gás quente transparente produz um espectro de linhas brilhantes (de emissão). O número e a posição destas linhas depende dos elementos químicos presentes no gás.



> Se um espectro contínuo passar por um gás à temperatura mais baixa, o gás frio causa a presença de linhas escuras (absorção). O número e a posição destas linhas depende dos elementos químicos presentes no gás.

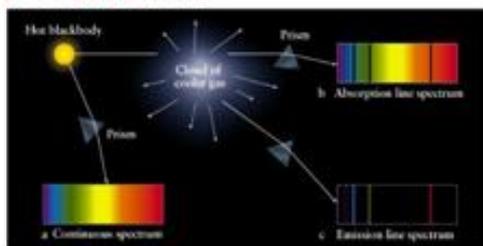


O SURTIAMENTO DAS LINHAS ESPECÍFICAS



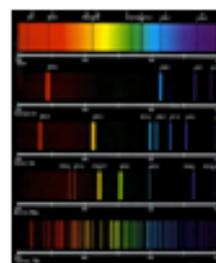
Fonte: Taylor & Francis

O ESPECTRO DAS ESTRELAS



Fonte: http://www.nasa.gov/pdf/jsp/planets/feature/070707_017465_1.jpg

A "IMPRESSÃO DIGITAL" DOS ELEMENTOS QUÍMICOS



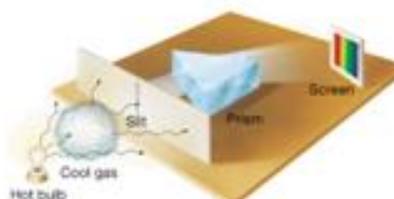
Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_de_emiss%C3%A3o

A SPECIES FUNDAMENTAIS SOBRE ESPECTROSCÓPIA EM ASTRONOMIA

Segundo Fernandes et al. (2018), a técnica permite:

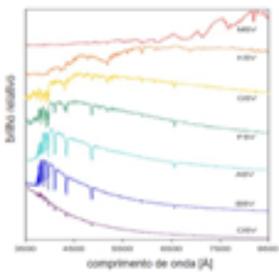
- Obter informações sobre propriedades físicas e químicas de um dado objeto;
- Dentro algumas propriedades, a temperatura, a composição química, o tamanho, a velocidade ao longo da linha de visão do observador, a idade etc.
- Permite determinar o gradiente químico ao longo das galáxias,

FUNIONAMENTO DE ESPECTRÓGRAFO BÁSICO



Fonte: www.nasa.gov

EXEMPLOS DE DIAGRAMAS DE CADA TIPO ESPECTRAL



Fonte: The Classification of Stellar Spectra - CLEA

Operando o programa...



Fonte: The Classification of Stellar Spectra - CLEA

Passo 2

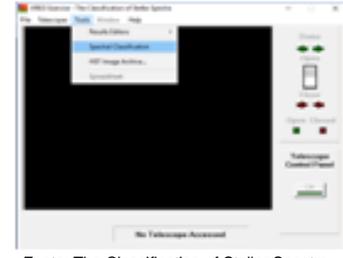


Fonte: The Classification of Stellar Spectra - CLEA



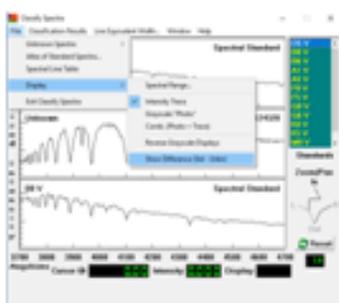
Fonte: The Classification of Stellar Spectra - CLEA

Passo 2

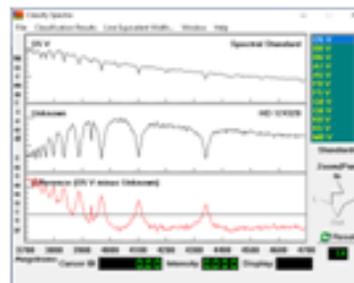


Fonte: The Classification of Stellar Spectra - CLEA

Passo 9

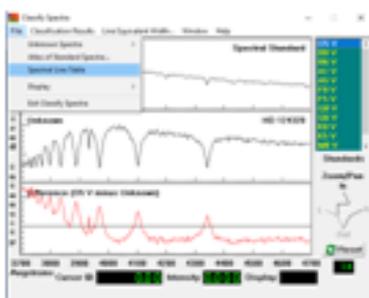


Fonte: The Classification of Stellar Spectra - CLEA

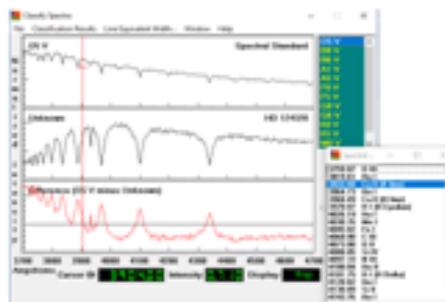


Fonte: The Classification of Stellar Spectra - CLEA

Passo 10

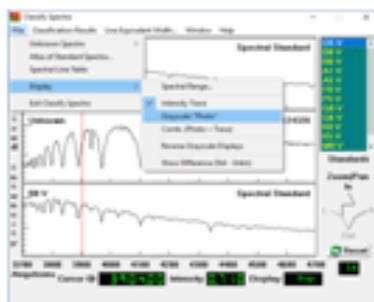


Fonte: The Classification of Stellar Spectra - CLEA

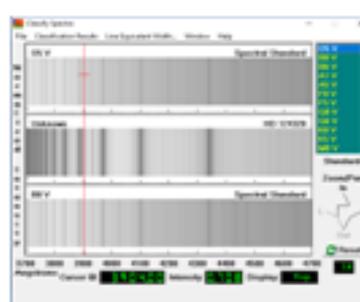


Fonte: The Classification of Stellar Spectra - CLEA

Passo 11



Fonte: The Classification of Stellar Spectra - CLEA



Fonte: The Classification of Stellar Spectra - CLEA

APÊNDICE 3 – ROTEIRO PARA ATIVIDADE DO CLEA – ATIVIDADE 3



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA – UEFS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
Mestrado Profissional



Estudante: _____ Data: ____/____/____

SEQUÊNCIA DIDÁTICA “*Espectrando*”

Material complementar ao Roteiro da Atividade nº 03

Adaptado da Atividade do CLEA²⁴: THE CLASSIFICATION OF STELLAR SPECTRA

Objetivos

Você deve...

Ser capaz de reconhecer as características de diferentes tipos espectrais de estrelas da sequência principal.

Entender como os espectros estelares são obtidos.

Compreender o uso da classificação espectral para obter as distâncias das estrelas.

Se você aprender a ...

Obter espectros usando um telescópio simulado e espectrômetro.

Compará-los com espectros padrão de tipo espectral conhecido.

Reconhecer linhas de absorção proeminentes nos espectros e em suas imagens fotográficas.

Avaliar as principais características das linhas de absorção a partir de medições e comparações com espectros padrão.

Você deverá poder...

Atribuir classificações espectrais às estrelas da sequência principal com uma precisão de um ou dois décimos de um tipo espectral.

Obter espectros de estrelas desconhecidas de um campo simulado de estrelas.

Determinar a distância dessas estrelas pelo método da paralaxe espectroscópica.

²⁴ CLEA: Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy, Gettysburg, PA.

Equipamento

Computador PC com Windows 3.1 (gráficos VGA) e a classificação espectral do programa CLEA.

A História e a Natureza da Classificação Espectral

Padrões de linhas de absorção foram observados pela primeira vez no espectro do Sol pelo físico alemão Joseph Von Fraunhofer no início de 1800, mas somente no final do século que os astrônomos foram capazes de examinar rotineiramente os espectros de estrelas em grande número. Os astrônomos Ângelo Secchi e E.C. Pickering estavam entre os primeiros a notar que os espectros estelares podiam ser divididos em grupos a partir de sua aparência geral.

Nos vários esquemas de classificação que eles propuseram, as estrelas foram agrupadas pela proeminência de certas linhas espectrais. No esquema de Secchi, por exemplo, estrelas com linhas de Hidrogênio muito fortes eram chamadas de tipo I, estrelas com linhas fortes de íons metálicos como ferro e cálcio foram chamados de tipo II, estrelas com bandas largas de absorção que ficaram mais escuras em direção ao azul foram chamadas de tipo III, e assim por diante.

Com base neste trabalho inicial, os astrônomos do Observatório de Harvard refinaram os tipos espectrais e os renomearam com letras, A, B, C, etc. Eles também fizeram parte de um enorme projeto para classificar espectros, realizado por um trio de astrônomas, Williamina Fleming, Annie Jump Cannon e Antonia Maury. Os resultados desse trabalho, o Henry Draper Catalog (em homenagem ao benfeitor que financiou o estudo), foi publicado entre 1918 e 1924, e classificou cerca de 225.300 estrelas. Mas este estudo, no entanto, representa apenas uma pequena fração das estrelas no céu.

No curso do estudo de classificação de Harvard, alguns dos tipos espectrais antigos foram consolidados juntos, e outros tipos foram reorganizados para refletir uma mudança constante na intensidade de linhas espectrais representativas. A ordem das classes espectrais se tornou O, B, A, F, G, K, e M, e embora as designações de letras não tenham outro significado além daquele imposto pela história, os nomes permaneceram até hoje. Cada classe espectral é dividida em décimos, de modo que uma estrela B0 segue um O9 e um A0, um B9. Neste esquema, o Sol é designado por um tipo G2.

O sistema de classificação espectral inicial foi baseado na aparência dos espectros, mas a razão física para essas diferenças nos espectros não foram compreendidas até as décadas de 1930 e 1940. Então percebeu-se que, enquanto havia algumas diferenças químicas entre as estrelas, a principal característica que determinou o tipo espectral de uma estrela foi a temperatura superficial. Estrelas com fortes linhas de Hélio ionizado (HeII), que eram chamadas estrelas O no sistema de Harvard, eram as mais quentes, em torno de 40.000K, porque somente a altas temperaturas estes íons estariam presentes na atmosfera da estrela em números suficiente para produzir absorção.

As estrelas M com bandas de absorção "escuras", que foram produzidas por moléculas, foram mais frias, em torno de 3.000K, uma vez que as moléculas estão dissociadas à altas temperaturas. Estrelas com fortes linhas de Hidrogênio, as estrelas do Tipo A, tinham temperaturas intermediárias (cerca de 10.000K). As divisões decimais dos tipos espectrais

seguiram o mesmo padrão. Assim, uma estrela B5 é mais fria que uma estrela B0, mas mais quente que uma estrela B9.

O sistema de classificação espectral usado hoje é um refinamento chamado sistema MK, introduzido na década de 1940 e 1950 por W. W. Morgan e P.C. Keenan, do Observatório Yerkes, para levar em conta o fato de que estrelas ao mesmo a temperatura pode ter tamanhos diferentes. Uma estrela cem vezes maior do que o Sol, por exemplo, mas com a mesma temperatura superficial, irá mostrar diferenças sutis em seu espectro, e terá uma luminosidade muito maior. O sistema MK adiciona um Numeral romano ao final do tipo espectral para indicar a chamada classe de luminosidade: a I indica uma supergigante, a III uma estrela gigante e V uma estrela de sequência principal. Nosso Sol, uma estrela típica da sequência principal, seria designado por G2V, por exemplo. Neste exercício, estaremos nos limitando à classificação das estrelas da sequência principal, mas o software permite examinar espectros de classes de luminosidade variadas.

O tipo espectral de uma estrela é tão fundamental que um astrônomo que inicia o estudo de qualquer estrela tentará primeiro identificar o seu tipo espectral. Se ele ainda não foi catalogado (pelos astrônomos de Harvard ou pelos muitos que seguiram seus passos), ou se houver alguma dúvida sobre a classificação listada, então a classificação deve ser feita a partir do espectro de uma estrela e comparando-a com um Atlas de espectros bem estudados de estrelas brilhantes. Antigamente, os espectros eram classificados por meio de fotografias dos espectros de estrelas, mas os espectrógrafos modernos produzem traços digitais de intensidade contra comprimentos de onda, que muitas vezes são mais convenientes para estudar. A figura 1 mostra alguns espectros digitais da amostra dos principais tipos espectrais MK; o intervalo em comprimento de onda (o eixo x) é de 3900 Å a 4500 Å. A intensidade (o eixo y) de cada espectro é normalizada, o que significa que ele foi multiplicado por uma constante para que o espectro se encaixe na imagem, com um valor de 1,0 para a intensidade máxima e 0,0 para nenhuma luz.

O tipo espectral de uma estrela permite ao astrônomo conhecer não apenas a temperatura da estrela, mas também a sua luminosidade (expressa frequentemente como a magnitude absoluta da estrela) e a sua cor. Essas propriedades, por sua vez, podem ajudar na determinação da distância, massa e muitas outras quantidades físicas associadas à estrela, seu ambiente circundante e sua história passada. Assim, o conhecimento sobre classificação espectral é fundamental para entender como reunimos uma descrição da natureza e evolução das estrelas. Em uma escala ainda mais ampla, a classificação de espectros estelares é importante, assim como

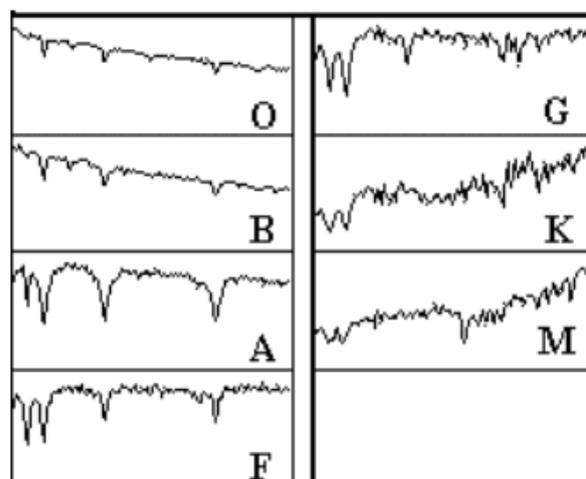


Figure 1
Digital Spectra of the Principal MK Types

qualquer classificação de sistema, porque nos permite reduzir uma grande amostra de diversos indivíduos a um número gerenciável de grupos naturais com características semelhantes.

Portanto a classificação espectral é, em muitos aspectos, fundamental para a Astronomia como é o sistema lineano de classificação plantas e animais por gênero e espécie. Na medida em que os membros do grupo presumivelmente têm características físicas semelhantes, podemos estudá-los como grupos, não como indivíduos isolados. Da mesma forma, indivíduos incomuns podem ser prontamente identificados por causa de suas óbvias diferenças em relação aos grupos naturais. Esses objetos peculiares são submetidos a estudo intensivo, a fim de tentar entender o motivo de sua natureza incomum. Essas exceções à regra freqüentemente nos ajuda a entender as características gerais dos grupos naturais. Elas podem até fornecer ligações evolutivas entre os grupos.

A melhor maneira de aprender sobre classificação espectral é fazendo-a, e é exatamente isso que propõe a atividade a seguir.

Introdução ao exercício

O programa de computador que você usará consiste em duas partes. A primeira é uma ferramenta de exibição e classificação de espectro. Este ferramenta permite exibir um espectro de uma estrela e compará-lo com o espectro de estrelas padrão de tipos espectrais conhecidos. A ferramenta facilita a medição dos comprimentos de onda e intensidades das linhas espectrais e fornece uma lista dos comprimentos de onda de linhas espectrais conhecidas para ajudá-lo a identificar características espectrais e associá-las a elementos químicos específicos.

A segunda parte do programa de computador é uma simulação realista de um espectrômetro astronômico ligado a um dos três telescópios de pesquisa - um pequeno, um de tamanho médio e um grande. Você escolherá um telescópio mais adequado às suas necessidades. Uma câmera de TV é acoplada ao telescópio para que você possa ver os campos de estrelas para os quais está apontando, e você pode ver os campos em alta e baixa ampliação. Você pode dirigir o telescópio para que a luz de uma estrela passe para a fenda de o espectrômetro e depois ligar o espectrômetro e começar a coletar fótons. O visor do espectrômetro mostrará espectro da fonte à medida que se acumula enquanto você coleta fótons adicionais. O espectro é um registro da intensidade de luz coletada versus o comprimento de onda. Quando um número suficiente de fótons é coletado, você deve ser capaz de ver as linhas espectrais distintas que lhe permitirão classificar o espectro.

Você pode usar o telescópio para obter espectros para uma lista de estrelas designadas pelo seu instrutor. Você então classificará seus espectros, comparando-os com os espectros de estrelas padrão armazenados no computador, assim como você fez na primeira parte do exercício.

Operando o Programa

1. Acesse e navegue pelas telas de ajuda.
2. Faça o *login* e insira as informações do aluno acessando na sequência: FILE → LOGIN → STUDENT 1 → OK

Exercício I: Classificação Espectral das Estrelas da Sequência Principal

Propósito

Familiarizar-se com a aparência e características dos espectros das estrelas da sequência principal.

Aprender a classificar os espectros de estrelas da sequência principal, comparando um dado espectro com os fornecidos por um atlas de espectros de estrelas padrão selecionadas.

Método

Você examinará o espectro digital de 25 estrelas desconhecidas, determinará o tipo espectral de cada estrela e registrará seus resultados juntamente com a razão para fazer cada classificação. Os espectros podem ser comparados visualmente e digitalmente (ponto a ponto) com um atlas representativo de 13 espectros padrão, e observando as intensidades relativas de absorção características das linhas, dessa forma você será capaz de estimar o tipo espectral das estrelas desconhecidas.

Procedimento

Passo 1. Acesse a atividade de classificação espectral selecionando em sequência: FILE → RUN EXERCISE → CLASSIFICATION OF STELLAR SPECTRA;

Passo 2. Acesse a ferramenta de classificação a partir dos comandos: TOOLS → SPECTRAL CLASSIFICATION.

Passo 3. Agora você já está na ferramenta de classificação e a sua tela deve estar exibindo três painéis, um acima do outro com alguns botões de controle à direita e uma barra de menu na parte superior. O painel central será usado para exibir o espectro de uma estrela desconhecida, e os painéis superior e inferior mostrarão espectros de estrelas padrão que podem ser comparadas com o desconhecido.

Passo 4. Vamos agora utilizar a ferramenta para classificar o primeiro dos 25 espectros desconhecidos fornecidos para essa prática.

Passo 5. Acesse o primeiro espectro seguindo os comandos: FILE → UNKNOWN SPECTRA → PROGRAM LIST → HD124320. O espectro desconhecido deve aparecer no painel central de sua tela.

Olhe o espectro com cuidado. Note que o que você está vendo é um gráfico de intensidade versus comprimento de onda. O espectro abrange um intervalo de 3900 Å a 4500 Å, e a intensidade pode variar de 0,0 (sem luz) a 1,0 (máximo leve). Os pontos mais altos do espectro, chamados de contínuo, são a luz geral da superfície incandescente da estrela, enquanto os vales são linhas de absorção produzidas por átomos e íons mais longe na fotosfera da estrela. Você pode medir tanto o comprimento de onda quanto a intensidade de qualquer ponto no espectro,

apontando o cursor para ele e clicando no botão esquerdo do mouse. O cursor muda de uma seta para uma cruz, facilitando a centralização do cursor no ponto desejado.

Passo 6. Agora responda aos itens abaixo:

a) Escolha qualquer ponto no continuum do HD 124320 e registre seu comprimento de onda e intensidade abaixo.

Comprimento de onda _____ **Intensidade** _____

b) Meça o comprimento de onda e intensidade do ponto mais profundo da linha de absorção mais profunda no espectro de HD 124320.

Comprimento de onda _____ **Intensidade** _____

Note que o espectro que você vê aqui, que é típico daqueles usados para classificação espectral, não cobre todo o espectro faixa de comprimentos de onda visíveis, mas apenas uma porção limitada.

c) Se você olhasse para essa faixa de comprimentos de onda com seus olhos, que cor eles exibiriam?

Passo 7. Agora você deseja encontrar o tipo espectral de HD 124320, comparando seu espectro com espectros do tipo conhecido. Vamos agora acessar ao atlas de espectros padrão para fins de comparação entre esses e o espectro desconhecido. Faça isso a partir dos comandos: FILE → ATLAS OF STANDARD SPECTRA → MAIN SEQUENCE.

Os 13 espectros no Atlas aparecerão em uma janela separada, mas apenas 3 podem ser vistos ao mesmo tempo. Você pode olhar para o conjunto inteiro arrastando para cima e para baixo na barra de rolagem à direita da janela do Atlas. Faça isso, e observe que uma sequência de tipos representativos, abrangendo o intervalo do mais quente ao mais frio, é mostrada.

8. Liste os diferentes tipos espectrais que estão incluídos no Atlas na linha abaixo, incluindo a letra da classe e o número do décimo decimal de uma classe (por exemplo, G2, ...). Você pode ignorar o numeral romano "V" no fim do tipo espectral - isso apenas indica que as estrelas padrão são as estrelas da sequência principal.

Tipos espectrais no Atlas

Os tipos espectrais representam uma sequência de estrelas de diferentes temperaturas da superfície. Duas coisas são notáveis: (1) diferentes tipos espectrais mostram diferentes linhas de absorção, e (2) a forma geral do continuum muda. As linhas de absorção são determinadas pela presença ou ausência de determinados íons a temperaturas diferentes. A forma do contínuo é determinada pelas leis de radiação dos corpos negros. Uma dessas leis, a Lei de Wein, afirma que

o comprimento de onda de intensidade máxima é menor quando a temperatura do objeto é mais quente. Isso é descrito matematicamente na equação abaixo:

$$\lambda_{\max} = 2.9 \cdot 10^7 / T$$

onde λ_{\max} = o comprimento de onda de intensidade máxima em Angstroms

T = temperatura em Kelvin (K).

Passo 8. Responda aos itens:

a) Quando você olha por meio das estrelas no Atlas, você pode dizer, a partir do continuum, qual tipo espectral é mais quente? Identifique-o.

Explique sua resposta. (Lembre-se que, em todos esses gráficos, 3900 Å está à esquerda e que 4500 Å está à direita.

b) Por volta de qual tipo espectral é a intensidade do pico contínuo a 4200 Å?

c) Qual seria a temperatura dessa estrela?

Passo 9. Agora use os espectros de comparação para classificar a estrela. Se você olhar os painéis atrás da janela do Atlas verá que dois dos espectros da estrela de comparação já foram colocados nos dois painéis acima e abaixo do espectro de sua estrela desconhecida. Você pode ver os três painéis mais claramente, reduzindo a janela do Atlas a um ícone (clique no pequeno botão de seta no canto superior direito da janela do Atlas para simbolizá-lo; se você quiser a janela do Atlas de volta, você pode clicar duas vezes no ícone novamente). Você deve ver o espectro de uma estrela O5 está no topo painel, e o espectro da próxima estrela no Atlas, um B0, no painel inferior.

Se nenhuma dessas combina com sua estrela desconhecida, você pode se mover pelo Atlas clicando em o botão rotulado para baixo no canto superior direito da exibição do espectro. Continue isso até conseguir um bom ponto de partida. Você deve achar que a melhor combinação é com tipos espectrais que possuem linhas de hidrogênio muito fortes (trataremos mais sobre como identificá-los mais tarde). As estrelas com as linhas de hidrogênio mais fortes estão ao redor tipo espectral A1.

Para obter uma comparação a partir de uma forma mais quantitativa, determine a diferença entre o espectro desconhecido e o padrão acessando: FILE → DISPLAY → SHOW DIFFERENCE.

Utilize a exibição de diferença, percorrendo os espectros de comparação (usando os botões para cima e para baixo) até a diferença entre a comparação e a estrela desconhecida ficar próxima de zero em todos os comprimentos de onda quanto possível. Para estimar tipos espectrais intermediários, observe para ver quando a exibição muda de picos para algumas linhas, para vales (Já que algumas linhas ficam mais fortes com a temperatura, e outras ficam mais fracas, você verá algumas linhas indo de colisões para vales, e alguns de vales para picos, como você mudar espectros de comparação).

Responda aos itens:

Sua estimativa do tipo espectral de HD124320

Justifique sua resposta. (Para este exemplo: A intensidade das linhas em 4340.4 Å e 4104 Å são quase exatamente aqueles do tipo A1 ou A5).

Passo 10. Você usou uma ou duas linhas espectrais para fazer uma classificação refinada. Mas que elementos os produziram? Para determinar a fonte (elemento) da linha observada acesse: FILE → SPECTRAL LINE TABLE. Você janelas contendo uma lista de linhas espectrais. Agora, usando o mouse, aponte o cursor para o centro de qualquer linha no espectro (digamos, aquela em 4341) e clique duas vezes no botão esquerdo. Uma linha vermelha deve aparecer na tela e uma linha dupla na lista de linhas para mostrar o que a linha representa. Por exemplo, a linha em 4341 Å é uma linha de Hidrogênio, H γ , verifique isso.

Responda:

Agora identifique a linha em 3933 Å

Passo 11. Os espectros são frequentemente exibidos como imagens em preto e branco mostrando a luz das estrelas espalhada como um arco-íris por uma grade de difração ou prisma. Você pode ver os espectros dessa maneira usando a ferramenta de classificação. Acesse: FILE → DISPLAY → GREYSCALE PHOTO. Para combinar traçado gráfico e fotografia: FILE → DISPLAY → COMBINATION. Caso queira retornar para o traçado gráfico use os comandos: FILE → DISPLAY → INTENSITY TRACE.

Passo 12. Você já classificou o espectro desconhecido HD124320, continue classificando os próximos 24 espectros desconhecidos. Para isso, você não precisa carregar novamente, o Atlas, basta chamar a lista de espectros acessando: FILE → UNKNOWN SPECTRA → PROGRAM LIST. Repita o método adotado anteriormente e preencha a tabela 1 seguinte inserindo as classes estimadas e as respectivas descrições.

Tabela 1: Dados dos espectros desconhecidos.

Estrela	Tipo espectral	Motivos
HD 124320	A3	Linhas HI muito fortes; linha CaII entre A0 e A5
HD 37767		
HD 35619		
HD 23733		
O1015		
HD 24189		
HD 107399		
HD 240344		
HD 17647		
BD +63 137		
HD 66171		
HZ 948		
HD 35215		
Feige 40		
Feige 41		
HD 6111		
HD 23863		
HD 221741		
HD 242936		
HD 5351		
SAO 81292		
HD 27685		
HD 21619		
HD 23511		
HD 158659		

APÊNDICE 4 – ROTEIRO PARA ATIVIDADE DE RECONHECIMENTO DE ESPECTROS – ATIVIDADE 4



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA – UEFS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
Mestrado Profissional



Estudante: _____ Data: ____/____/____

SEQUÊNCIA DIDÁTICA “*Espectrando*”

Roteiro da Atividade nº 04

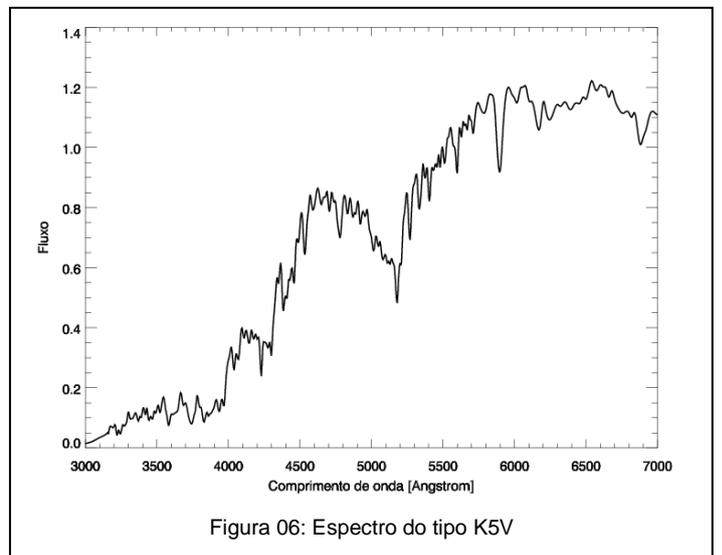
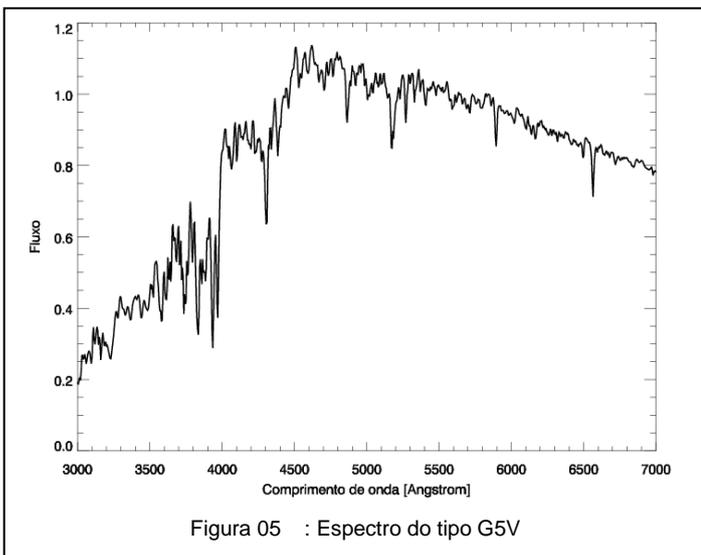
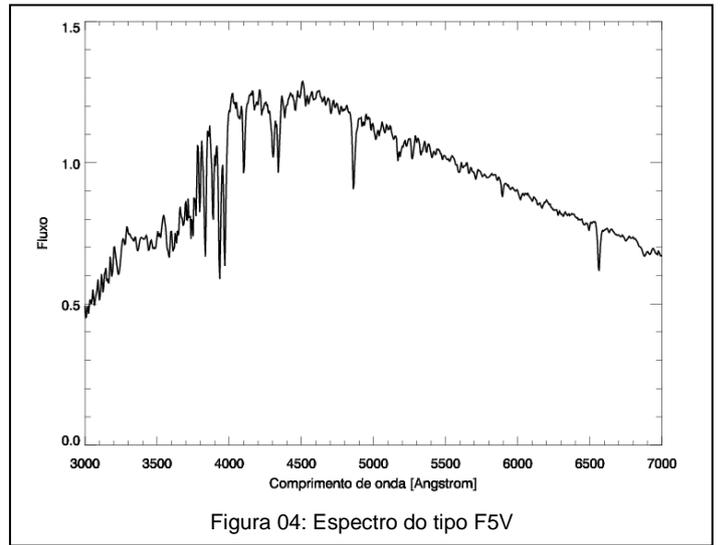
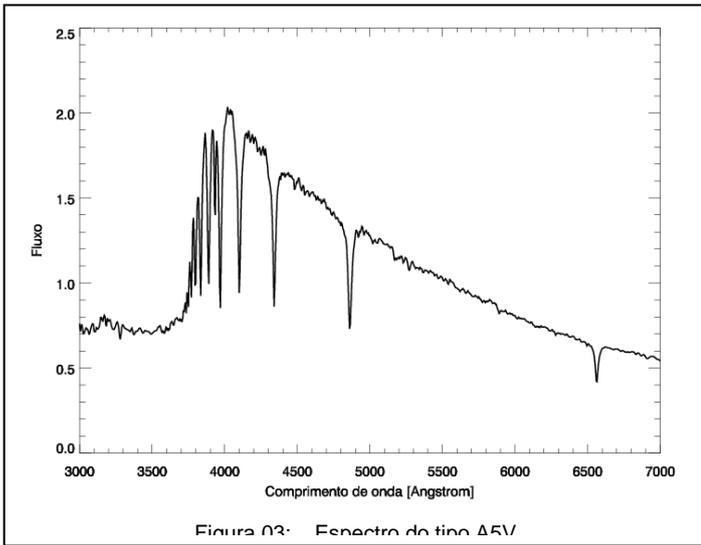
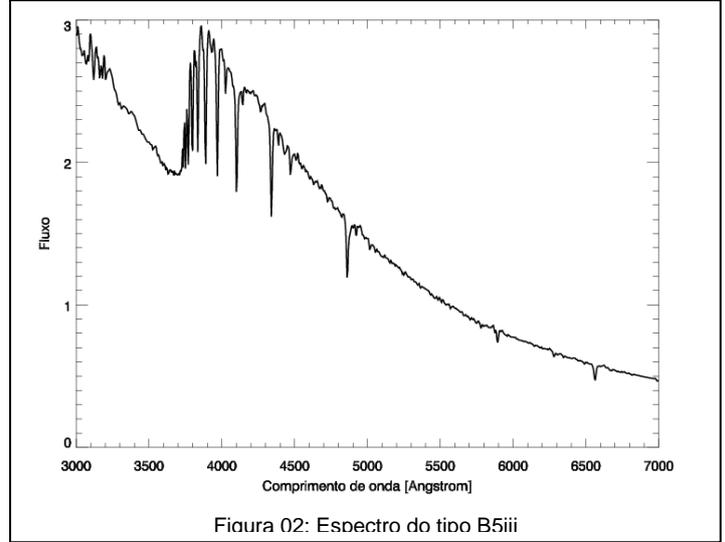
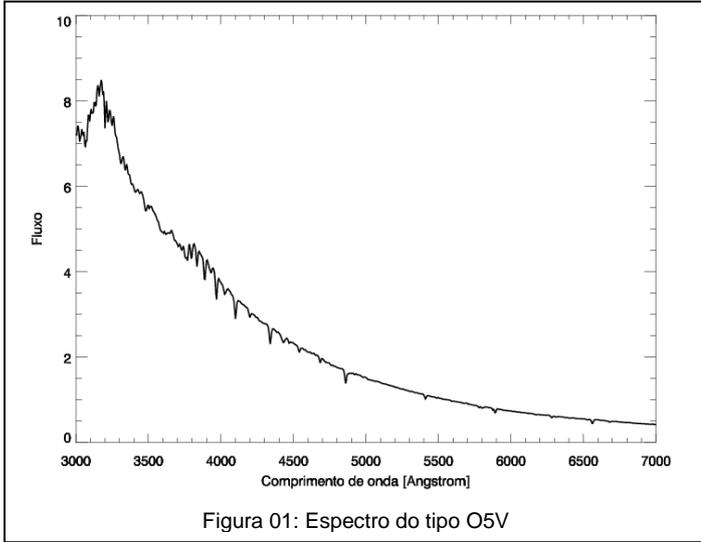
Reconhecendo espectros

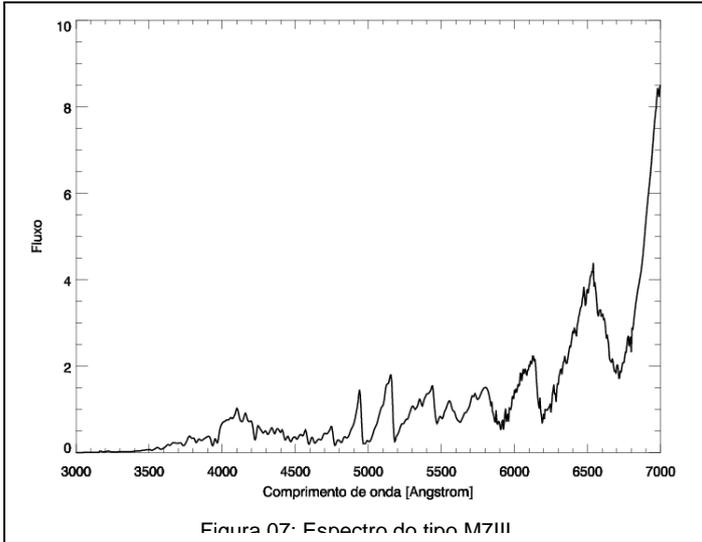
Objetivo

Você deve ser capaz de identificar os tipos estelares a partir de espectros de referência.

Instruções

As figuras 01 a 07 (páginas 1 e 2) apresentam uma amostra com alguns espectros representativos dos tipos espectrais O, B, A, F, G, K e M, de acordo com a Classificação de Harvard. Em 1901, a astrônoma estadunidense Annie Jump Cannon (1863-1941) criou tal classificação baseando-se na temperatura, na tentativa de organizar e classificar estrelas. Posteriormente, o sistema foi refinado com a introduzindo dos subtipos espectrais numerados de 0 a 9, desde a estrela mais quente até a mais fria. Os espectros são gráficos de fluxo *versus* comprimento de onda. Observe a posição das linhas de emissão e absorção dos elementos presentes em cada espectro.

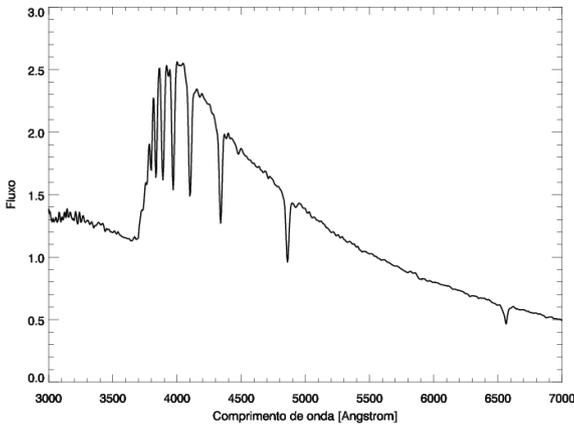




Fonte: *Templates de Pickles* (1998).

Nessa atividade você deve comparar os espectros para as estrelas 1 a 5, com a amostra de referência (páginas 1 e 2). Isso deve ser feito tendo como base, as características não apenas do contínuo, mas das linhas de absorção e emissão. Identifique o tipo espectral ao qual corresponde cada estrela.

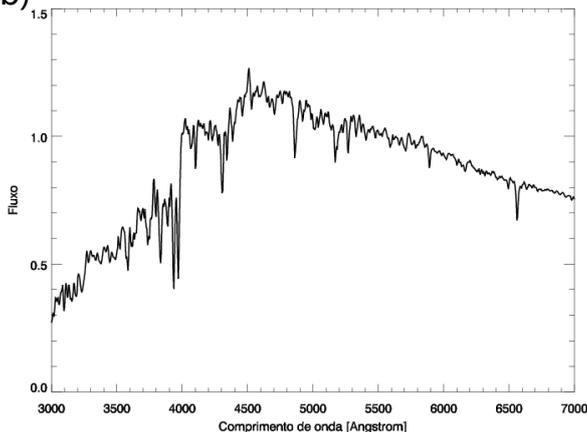
a)



Estrela 1

Tipo _____

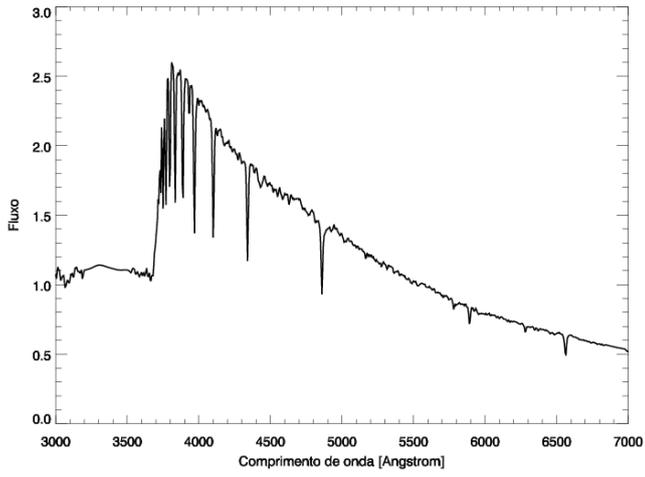
b)



Estrela 2

Tipo _____

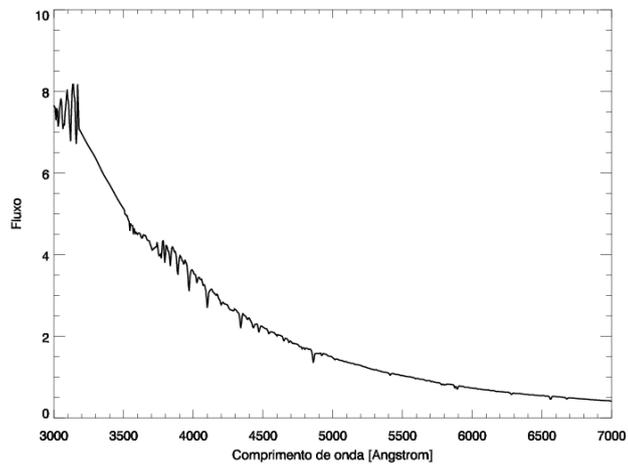
c)



Estrela 3

Tipo _____

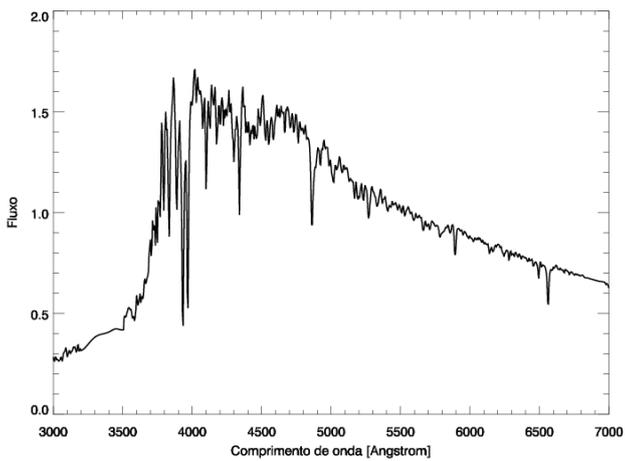
d)



Estrela 4

Tipo _____

e)



Estrela 5

Tipo _____

APÊNDICE 5 – ROTEIRO PARA ATIVIDADE DE CONSTRUÇÃO DE ESPECTROS – ATIVIDADE 5



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA – UEFS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
Mestrado Profissional



Estudante: _____ Data: ____/____/____

SEQUÊNCIA DIDÁTICA “*Espectrando*”

Roteiro da Atividade nº 05

Construindo espectros em programa computacional

Objetivo

Você deve ser capaz de construir espectros de estrelas utilizando programa computacional a partir dos valores de intensidade e comprimento de onda e identificar seus tipos espectrais.

Instruções

Você deve instalar previamente em seu computador pessoal um programa para construção de gráficos (software livre) de sua preferência.

Em seguida, você receberá uma pasta com arquivos contendo informações sobre algumas estrelas desconhecidas. Cada arquivo está identificado pela expressão *Espectrando* seguido de um número (ex. *Espectrando 01*; *Espectrando 2*, etc.) Trata-se de valores de fluxo e comprimentos de onda para cada estrela, extraídos dos *Templates* de *Pickles* (1998).

De posse desses dados você deverá alimentar a página do programa escolhido, inserindo os valores de fluxo no eixo das ordenadas e os valores de comprimento de onda no eixo

das abscissas. Com isso você deverá plotar um gráfico que representa o espectro de cada estrela.

A partir dele e baseando-se no que foi estudado anteriormente você deverá identificar o tipo espectral de cada estrela observada.

Ao final da atividade, salve o gráfico plotado com o nome original do arquivo seguido do tipo espectral da estrela que gerou cada gráfico (Ex: *Espectrando 01* – tipo B0V).

APÊNDICE 6 – ROTEIRO PARA ATIVIDADE DE RECONHECIMENTO DE ESPECTROS – ATIVIDADE 6



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA – UEFS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
Mestrado Profissional



Estudante: _____ Data: ____/____/____

SEQUÊNCIA DIDÁTICA “*Espectrando*”

Roteiro da Atividade nº 06

Identificando estrelas no Diagrama HR

Objetivo

Você deve ser capaz de identificar a localização, no Diagrama Hertzsprung-Russell para um conjunto de estrelas brilhantes.

Instruções

A Tabela 1 apresenta as principais características das vinte estrelas mais brilhantes. Identifique as propriedades de cada coluna. Tendo como base os valores, de Luminosidade e Tipo espectral das estrelas é possível alocá-las em um Diagrama HR. Essa representação foi criada por Ejnar Hertzsprung e Henry Norris Russell e representa um importante passo em direção ao entendimento da evolução estelar.

Na sequência apresentamos a imagem de um Diagrama HR especialmente adaptado para essa atividade. Note que nele existem 11 lacunas. Nessa atividade, você deverá preencher cada lacuna do diagrama com o nome da estrela (primeira coluna da Tabela 1) correspondente, dentre as apresentadas na Tabela 1. Dessa forma para completar corretamente o diagrama, você usará apenas 11 das 20 estrelas que fazem parte da tabela.

Tabela 1: Estrelas mais brilhantes com algumas de suas propriedades fundamentais.

Adaptado de *Astronomy a beginner's guide to the Universe*.

Name	Star	Spectral type		Luminosity (Sun = 1)		Absolute Visual Magnitude ¹	
		A	B	A	B	A	B
Sirius	α CMa	A1V	wd ²	23.5	0.003	+1.4	+11.6
Canopus	α Car	F01b-II		1510		-3.1	
Rigel Kentaurus	α Cen	G2V	K0V	1.56	0.46	+4.4	+5.7
Arcturus	α Boo	K2IIIp		115		-0.3	
Vega	α Lyr	A0V		55.0		+0.5	
Capella	α Aur	GIII	M1V	166	0.01	-0.7	+9.5
Rigel	β Ori	B8 Ia	B9	4.6×10^4	126	-6.8	-0.4
Procyon	α CMi	F5IV-V	Wd	7.7	0.0006	+2.6	+13.0
Betelgeuse	α Ori	M2Iab		1.4×10^4		-5.5	
Achernar	α Eri	B5V		219		-1.0	
Hadar	β Cen	B1III	?	3800	182	-4.1	-0.8
Altair	α Aql	A7IV-V		11.5		+2.2	
Acrux	α Cru	B1IV	B3	3470	2190	-4.0	-3.5
Aldebaran	α Tau	K5III	M2V	105	0.0014	-0.2	+12
Spica	α Vir	B1V		2400		-3.6	
Antares	α Sco	M1Ib	B4V	5500	115	-4.5	-0.3
Pollux	β Gem	K0III		41.7		+0.8	
Fomalhaut	α PsA	A3V		13.8	0.10	+2.0	+7.3
Deneb	α Cyg	A2Ia		5.0×10^4		-6.9	
Mimosa	β Cru	B1IV		6030		-4.6	

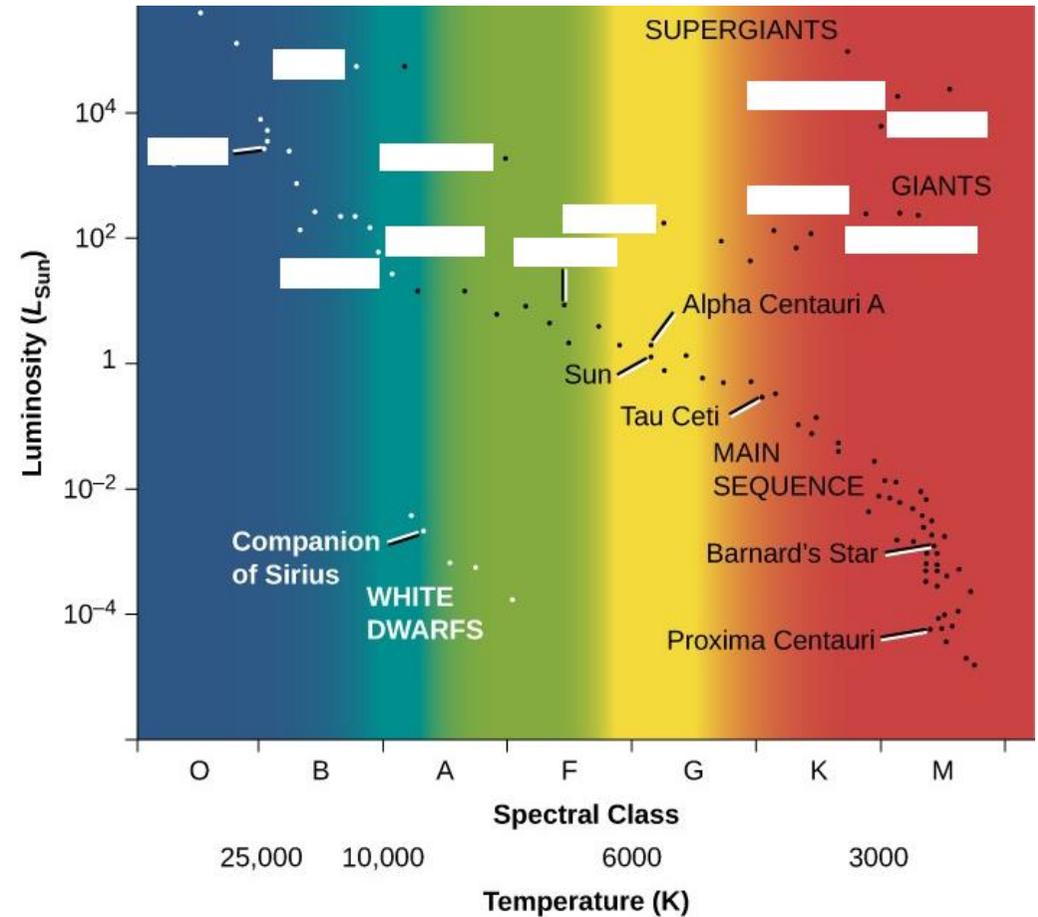


Figura 1: Diagrama H-R para o preenchimento do nome da estrela de acordo como as suas propriedades fornecidas na Tabela 1.

Adaptado de Lumen Astronomy

(https://courses.lumenlearning.com/astronomy/chapter/the-h-r-diagram/).

APÊNDICE 7 – MODELO DO QUESTIONÁRIO PÓS-TESTE – ATIVIDADE 7



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA – UEFS
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA
 DEPARTAMENTO DE FÍSICA
 Mestrado Profissional



Estudante: _____ Data: ____/____/____

SEQUÊNCIA DIDÁTICA “*Espectrando*”

Pós-teste

1. Você saberia dizer como um astrônomo determina o tipo espectral de uma estrela?

2. Abaixo estão apresentados espectros de três estrelas. Dentre elas duas possuem o mesmo tipo espectral, circule-as.

Figura A

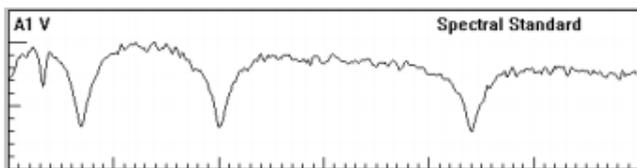


Figura B

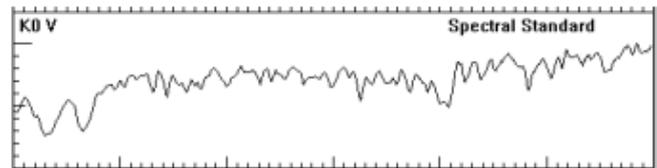
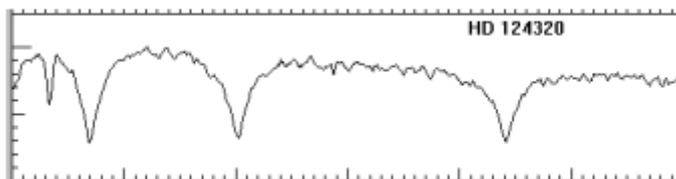
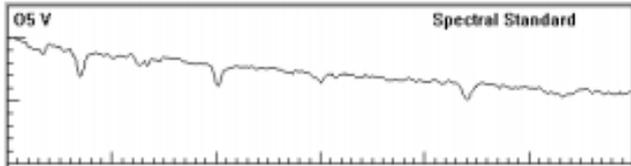


Figura C



3. Observando os gráficos, determine qual das duas estrelas abaixo possui maior temperatura. Circule a resposta correta.

Estrela 1



Estrela 2



4. Ao coletar espectros, por que os astrônomos expõem por mais tempo estrelas menos brilhantes do que para as estrelas mais brilhantes?

5. Dentre as características listadas abaixo, marque aquelas que são coincidentes para duas estrelas de mesmo tipo espectral.

- Luminosidade
- Distância
- Temperatura

- magnitude aparente
- magnitude absoluta
- composição química

6. Além dos espectros, que dados os astrônomos precisam ter para determinar a distância de uma estrela?

7. Dentre as estrelas destacadas no Diagrama HR abaixo, circule aquela que possui maior massa e marque com um X aquela que possui menor massa.

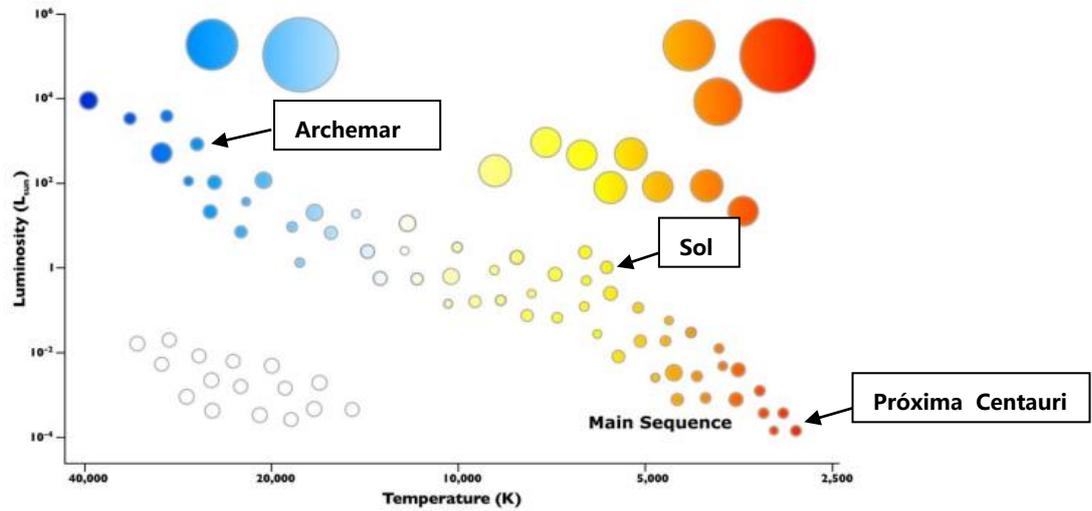


Diagrama HR. Fonte: <http://lcoqt.net/en/book/h-r-diagrams>

8. Comparado à outras estrelas, o Sol é quente ou frio? É grande ou pequeno? É luminoso ou fraco?

ANEXO 1 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

PARA O(A) ALUNO(A):

Você aluno(a) está sendo convidado(a) a participar, **como voluntário(a)**, de uma atividade de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Astronomia, Mestrado Profissional, da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEMS.

O título da Pesquisa é **“Proposta de utilização de uma Sequência Didática no Programa de Pós-graduação Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia da UEMS”** e tem como objetivo produzir o trabalho de conclusão de curso da mestranda Tatiane Bitencourt Barreto.

Os resultados desta pesquisa e imagem do(a) aluno(a), poderão ser publicados e/ou apresentados em encontros e congressos sobre Ensino e Astronomia. As informações obtidas por meio dos relatos (anotações, questionários ou entrevistas) serão confidenciais e asseguramos sigilo sobre sua identidade. Os dados serão publicados de forma que não seja possível a sua identificação.

É garantida a liberdade da retirada de consentimento a qualquer momento, bem como a participação nas atividades da pesquisa. Em caso de dúvida sobre a pesquisa você poderá entrar em contato com o pesquisador responsável.

PARA OS PAIS OU RESPONSÁVEIS:

Após ler com atenção este documento e ser esclarecido(a) de quaisquer dúvidas, caso aceite a participação da criança ou adolescente na pesquisa, preencha o parágrafo abaixo e assine ao final deste documento, que está em duas vias, uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável.

Eu, _____, responsável pelo(a) aluno(a) _____, nascido(a) em ____/____/____, autorizo a participação do(a) aluno(a) na pesquisa, e permito gratuitamente, Tatiane Bitencourt Barreto, responsável pela pesquisa, o uso da imagem do(a) referido(a) aluno(a), em trabalhos acadêmicos e científicos, bem como autorizo o uso ético da

publicação dos relatos provenientes deste trabalho. Declaro que recebi uma cópia do presente Termo de Consentimento. Por ser verdade, dato e assino em duas vias de igual teor.

Feira de Santana, 20 de Setembro de 2019

Assinatura do aluno(a)

Contatos: Orientador responsável: **Prof Dr. Eduardo Brescansin de Amôres.**

E-mails: ebamores@gmail.com e tatibbarreto@gmail.com **Telefone:** (75) 31618289.

Endereço: Av. Transnordestina, S/N. Bairro Novo Horizonte. CEP: 44036-900. Feira de Santana-Bahia.

Assinaturas: _____ (Orientador(a): **Prof Dr. Eduardo Brescansin de Amôres**)

_____ (Coorientador(a): **Profª Drª Ana Carla Peixoto B. Ragni**)

_____ (Discente: **Tatiane Bitencourt Barreto**)