

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA – PPG EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA HERTZSPRUNG-RUSSELL ATRAVÉS DO
STELLARIUM: UMA PROPOSTA PARA EXPLORAR CONCEITOS DE FÍSICA
MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO**

MAURICIO GIRARDI

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Daniela Borges Pavani

Coorientador: Prof. Dr. Alan Alves Brito

Porto Alegre

Outubro/2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA HERTZSPRUNG-RUSSEL ATRAVÉS DO
STELLARIUM: UMA PROPOSTA PARA EXPLORAR CONCEITOS DE FÍSICA
MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO**

Mauricio Girardi

Porto Alegre, Rio Grande do Sul - Brasil

Outubro/2017

Ficha catalográfica do documento após a homologação da tese pela Comissão Coordenadora

Dedico a minha filha Valentina Schwartzaupt Girardi, que nasceu na época de finalização desta dissertação e que me inspira a cada dia, ser uma pessoa melhor.

AGRADECIMENTOS

Começo agradecendo ao Programa de Pós Graduação do Mestrado Profissional em Ensino de Física da UFRGS, especialmente na pessoa da professora Eliane Ângela Veit, por quem tenho grande apreço e reconhecimento. Seu profissionalismo e acolhimento foram fundamentais para que eu pudesse cumprir esta etapa.

Agradeço aos meus orientadores, professora Daniela Borges Pavani e Alan Alves Brito. O professor Alan é o mentor deste trabalho. Foi em uma aula com ele que surgiu a ideia, e ele foi incansável no processo de orientação. Obrigado!

Agradeço aos meus familiares, que tiveram a paciência de entender minha ausência em momentos que eram para ser de convivência e tiveram que ser protelados. Aos meus pais, meus irmãos, sobrinhos, à minha filha Valentina, que está em seu segundo mês de vida, e à minha mulher Shirlei, mãe da Valentina, pelo companheirismo e compreensão neste período duro de pesquisa e escrita, quando não pude dar-lhe a atenção devida.

Agradeço à Caren Sander Girardi (*in memoriam*) que esteve ao meu lado por dezenove anos, e que sempre me apoiou na busca por qualificação profissional e, igualmente teve a compreensão nos momentos em que precisei estar ausente. Foi uma pessoa iluminada com quem tive o prazer de viver.

Agradeço aos meus amigos e colegas de trabalho, que especialmente nesta fase final, compreenderam a minha necessidade de dedicar-lhes menos tempo e que supriram minha falta no ambiente de trabalho.

RESUMO

Neste trabalho propõe-se explorar conceitos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) a partir de fenômenos físicos presentes na física estelar, utilizando o *software Stellarium* como ferramenta no desenvolvimento de atividades voltadas à construção coletiva de um diagrama Hertzsprung-Russell (diagrama H-R), que é um diagrama muito importante da astrofísica para classificação das estrelas. À luz da teoria de Lev S. Vygotsky, é proposto que os alunos trabalhem em grupos, de forma colaborativa, tanto na obtenção de parâmetros astrofísicos estelares a partir do *software*, quanto na construção do diagrama H-R. O uso do *software*, ao mesmo tempo em que serve de ferramenta no processo de mediação segundo a teoria Vygotskyana, também cumpre o papel de inserir o uso da tecnologia em sala de aula como recurso didático. Espectro eletromagnético, radiação de corpo negro, quantização da energia, luminosidade, cor e temperatura em função do comprimento de onda das radiações, são alguns dos conceitos de FMC abordados. Conceitos estes que constam nos programas nas disciplinas de Física das escolas, mas nem sempre são abordados ou em muitas ocasiões abordados de forma isolada ou descontextualizada. O trabalho foi desenvolvido em uma turma de 31 alunos do Segundo Ano do Ensino Médio no Colégio Estadual Piratini, em Porto Alegre – RS durante seis encontros (três de 100 minutos e três de 150 minutos), entre outubro e dezembro de 2016. Como produto deste trabalho é apresentado uma seqüência didática ao professor de Física com a perspectiva de sugerir possibilidades de abordagens dos conceitos de FMC através da astronomia e da astrofísica em um processo coletivo, mediado pelo uso de *softwares*, em especial, o *Stellarium*.

Palavras-chave: Astronomia, Astrofísica, Física Moderna e Contemporânea; *Software Stellarium*.

ABSTRACT

In this study is proposed to explore the concepts of Modern and Contemporary Physics through physical phenomena present on stellar physics, using the Stellarium software as a tool on the development of activities related to the collective construction of a Hertzsprung-Russell diagram (H-R diagram), which is a very important diagram in Astrophysics for the classification of stars. Based on Lev S. Vygotsky's theory, it is proposed that the students work collaboratively in groups, both in obtaining astrophysical parameters of the stars using the software, as in the construction of a H-R diagram. According to the Vygotsky's theory, the software can help on the process of mediation, while it also fulfills the role of bringing technology into classroom as a learning resource. Electromagnetic spectrum, blackbody radiation, energy quantization, luminosity, color and temperature, according to radiation wavelength are some of the Modern and Contemporary Physics concepts approached. These concepts are included on the program of Physics at schools, but they sometimes are not taught, or in many occasions are studied in an isolated, decontextualized manner. The project was conducted on a High School second grade class with 31 students at Colégio Estadual Piratini, in Porto Alegre – RS, during six classes (three of 100 minutes and three of 150 minutes), between October and December, 2016. As a result of this study, a didactical sequence is presented to the Physics teacher intending to suggest possible ways of approaching the Modern and Contemporary Physics concepts through Astronomy and Astrophysics, in a collective process, intermediated by the use of softwares, specially the Stellarium software.

Keywords: Astronomy and Astrophysics; Modern and Contemporary Physics; Stellarium Software.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	15
2.OBJETIVOS	20
2.1.Objetivos Gerais.....	20
2.2.Objetivos Específicos.....	21
3.MOTIVAÇÕES	22
4.REFERENCIAL TEÓRICO – Teoria de Vygotsky.....	25
5.METODOLOGIA	28
6.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	30
6.1.Espectro Eletromagnético.....	30
6.2.Radiação de Corpo Negro.....	31
6.3.Magnitude Aparente.....	35
6.4.Magnitude Absoluta e Luminosidade.....	36
6.5.Classe Espectral.....	37
6.6. O Diagrama Hertzsprung-Russell (Diagrama H-R).....	40
6.7.Conceitos e Quantidades de Física Moderna e Contemporânea e Matemática Discutidos em Sala de Aula a Partir do Diagrama H-R.....	45
6.7.1.Conceitos/Quantidades de Físicas.....	45
6.7.1.1.Radiação Eletromagnética.....	46
6.7.1.2.Radiação de Corpo Negro.....	46
6.7.1.3.Espectro Eletromagnético.....	46
6.7.1.4.Magnitude Visual.....	48
6.7.1.5.Magnitude Absoluta.....	49
6.7.1.6.Cor.....	49
6.7.1.7.Luminosidade.....	49
6.7.1.8.Temperatura.....	50
6.7.1.9.Classe Espectral.....	50
6.7.1.10.Massa.....	50
6.7.1.11.Conceitos de Matemática.....	51
7.DESENVOLVIMENTO DAS AULAS – CONSTRUINDO O DIAGRAMA HERTZSPRUNG-RUSSELL	52
7.1.Aula 1 – Reconhecendo Imagens de Objetos Astrofísicos.....	53

7.2.Aula 2 – Apresentando e Explorando o <i>Stellarium</i>	57
7.3.Aulas 3 e 4 – Falando Sobre Evolução Estelar e Apresentando o Diagrama H-R.....	58
7.4.Aula 5 – Coletando Parâmetros Astrofísicos Estelares através do <i>Stellarium</i>	61
7.5.Construção Coletiva do Diagrama H-R.....	63
8.ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	69
9.CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
10.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
11.ANEXOS.....	88
I-Imagens Astronômicas Utilizadas em Aula.....	88
II-Instrumento Utilizado na Primeira Aula para Sondagem do Nível de Conhecimento a Respeito dos Temas Relativos a Astronomia.....	92
III-Lista de Estrelas a Terem Registrados seus Parâmetros Astrofísicos para fins de Construção Coletiva do Diagrama H-R.....	93
IV-Produto Educacional.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Trabalhos publicados relacionados ao <i>software Stellarium</i>	19
Tabela 2. Apresentação da sequência espectral de acordo com a classificação Harvard. Cor e temperatura estão relacionadas à classe espectral, com uma estrela de exemplo para cada categoria.....	38
Tabela 3. Respostas corretas para figuras representativas dos objetos astrofísicos apresentados. Sem necessidade de relacionar todas as imagens, desde que as indicadas como resposta estivessem corretas.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação do espectro eletromagnético.....	30
Figura 2: Radiância espectral de um corpo negro em função do comprimento de onda λ para diferentes temperaturas.....	34
Figura 3: Exemplo de aspecto eletromagnético para estrelas de diferentes tipos e classes de luminosidade.....	41
Figura 4: Exemplo de aspecto eletromagnético para estrelas de diferentes tipos e classes de luminosidade.....	44
Figura 5: Exemplo de diferentes linhas atômicas e moleculares presentes em estrelas de diferentes temperaturas e classe espectral.....	47
Figura 6: Representação esquemática de um diagrama H-R e suas regiões.....	47
Figura 7: Diagrama ilustrativo da relação massa estelar e luminosidade, ambas em relação ao sol.....	48
Figura 8: Fotografia de alunos trocando imagens.....	55
Figura 9: Fotografia de alunos classificando imagens.....	55
Figura 10: Fotografia de alunos classificando imagens. Cartela de cima com o Cometa Ison em destaque.....	56
Figura 11: Fotografia de aluna respondendo às questões propostas junto com a classificação das imagens.....	56
Figura 12: Fotografia de alunas classificando imagens.....	56
Figura 13: Fotografia de alunos coletando dados de objetos astrofísicos a partir do <i>Stellarium</i>	62
Figura 14: Fotografia de alunos trabalhando.....	63
Figura 15: Imagem de alunos coletando dados e, em destaque, a “janela de procura” do programa <i>Stellarium</i>	63
Figura 16: Imagem de alunos trabalhando em colaboração.....	63
Figura 17: Imagem de aluna marcando a posição de uma estrela na região da Sequência Principal.....	65
Figura 18: Imagem de alunos marcando ponto de uma estrela tipo B.....	65
Figura 19: Alunos da figura anterior, agora marcando ponto de uma estrela tipo G.....	66
Figura 20: Imagem de alunos marcando posição de uma estrela na região das Gigantes.....	66
Figura 21: Imagem do diagrama H-R construído pelo grupo de alunos 1.....	67
Figura 22: Imagem do diagrama H-R construído pelo grupo de alunos 2.....	67
Figura 23: Imagem do professor e da turma com os dois diagramas H-R.....	68
Figura 24: Imagens de cartelas utilizadas como exemplos de Galaxias.....	88

Figura 25: Imagens utilizadas como exemplos de nebulosas.....	89
Figura 26: Imagens utilizadas como exemplos de estrelas e aglomerados de estrelas.....	90
Figura 27: Imagens usadas como exemplos de galáxias, estrelas e nebulosas.....	91
Figura 28: Imagens de cartelas utilizadas como exemplos de planetas, lua e cometas.....	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

al	Ano-luz
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior
CERN	Centro Europeu de Pesquisas Nucleares
d	Distância
DCNEM	Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio
EM	Ensino Médio
EREA	Encontros Regionais de Ensino em Astronomia
F	Fluxo
FMC	Física Moderna e Contemporânea
H-R	Hertzsprung-Russell
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
J	Joule
L	Luminosidade
LIP	Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas
m	Magnitude aparente
M	Magnitude Absoluta
MPEF	Mestrado Profissional em Ensino de Física
OBA	Olimpíada Brasileira de Astronomia
ON	Observatório Nacional
pc	Parsec
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
R	Raio
SBF	Sociedade Brasileira de Física
SNEA	Simpósio Nacional de Educação em Astronomia
T	Temperatura
UA	Unidade Astronômica
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USP	Universidade de São Paulo
ZDP	Zona de Desenvolvimento Proximal

1 – INTRODUÇÃO

Muito se debate sobre como tornar as aulas mais atraentes para os alunos. Um argumento bastante adotado nestas discussões é o de que as disciplinas que compõem a grade curricular de uma escola devem ser trabalhadas visando facilitar a interdisciplinaridade. Seguindo essa linha, as Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio (DCNEM), de 1999, indicam um conjunto de pressupostos a ser seguidos para orientar o Ensino Médio (EM), e entre eles indica às escolas:

Organizar os conteúdos de ensino em estudos ou áreas interdisciplinares e projetos que melhor abriguem a visão orgânica do conhecimento e o diálogo permanente entre as diferentes áreas do saber (BRASIL, 1999, p.87).

No entanto, via de regra, as diferentes áreas de conhecimento de um programa de ensino na educação básica não dialogam, transformando, dessa forma, o ensino tão somente em aquisição de conhecimentos estanques, sem aparente relação entre os diferentes saberes. Todavia, alguns destes saberes têm o privilégio de trazer consigo uma maior abrangência no que se refere ao poder de circulação entre as diferentes áreas do conhecimento, facilitando, assim, a interdisciplinaridade na prática didática. Conforme as DCNEM:

Será principalmente na possibilidade de relacionar as disciplinas em atividades ou projetos de estudo, pesquisa e ação, que a interdisciplinaridade poderá ser uma prática pedagógica e didática adequada aos objetivos do Ensino Médio (BRASIL, 1999, p.88).

A Astronomia é uma destas áreas com grande potencial de engajamento em projetos interdisciplinares, sendo uma das primeiras ciências a serem estudadas e que revelou ao homem o seu tamanho frente ao Universo. No que concerne à História, o ponto de contato diz respeito ao entendimento dos fenômenos celestes, das estações do ano, do mapeamento do céu noturno, o que possibilitou ao homem fixar endereço, determinar épocas de plantio e colheita, e lançar-se ao mar buscando novos continentes a serem explorados.

Já no tocante à Matemática, essa relação é muito mais estreita, pois foi com ela que se consolidou como uma poderosa ferramenta usada pelos astrônomos na determinação de distâncias, ângulos, passagens de datas e previsão de eventos com base em cálculos matemáticos. Dentro das Artes, também pode-se explorar a

interdisciplinaridade com a Astronomia, seja na concepção de Universo nas várias fases da história da humanidade ou na construção de modelos em escalas do nosso Sistema Solar.

Na Literatura e na música são inúmeras as referências. A Física, pela série de conceitos que abrange dentro da Astronomia, é a disciplina que tem condições de abarcar saberes e circular por todas essas áreas aproximando conhecimentos aparentemente isolados. Uma boa articulação entre estes diversos saberes tem a capacidade de promover um novo sentido para o que se aprende e, por conseqüência, dotar de significado aquilo que se ensina.

Porém, apesar da enorme facilidade que a Astronomia nos oferece para trabalharmos interdisciplinarmente, o tema tem sido pouco contemplado nos atuais programas de ensino. Segundo Langhi&Nardi (2012), a Astronomia está presente essencialmente na disciplina de ciências, conforme indicam os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), de 1997 (BRASIL, 1999), o que não contempla o EM. Neste sentido, cabe a pergunta: Por que não fazer abordagens dos conteúdos de Física a partir da Astronomia, uma vez que o leque de relações que se pode estabelecer é imenso? Talvez a resposta para esta pergunta esteja na falta de preparo do professor que pode não ter tido formação em Astronomia, ou quando muito uma ou duas disciplinas durante o curso de Física. De acordo com Júnior (2014), em relação ao número de alunos concluintes que fizeram o ENADE 2011 (...) são grandes as possibilidades de que 85% deles se formaram sem cursar uma disciplina de Astronomia. Isso significa que os cursos de Licenciatura em Física estão entregando para a sociedade professores sem uma formação mínima necessária para ensinar os conteúdos básicos de Astronomia. Ainda, de acordo com Santos & Curi (2012), dados com base no ano de 2007 do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) apontam que dos 44566 professores que lecionavam a disciplina de Física no EM, apenas 11238 tinham formação específica em Física, representando 25,2% do total. Os demais, 74,8% tinham formação em outras áreas, como formação em Matemática, por exemplo, que somavam 15170 professores (34% do total). Ou seja, havia mais professores de Matemática que professores de Física dando aula de Física.

No entanto, o professor que deseja trabalhar temas de astronomia em sala de aula pode complementar sua formação através de participações em

encontros relacionados à área ou em cursos de formação continuada. A Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a Universidade de São Paulo (USP), a Universidade Estadual Paulista (UNESP, Campus Bauru), o Observatório Nacional (ON), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), os Encontros Regionais de Ensino em Astronomia (EREA), o Simpósio Nacional de Educação em Astronomia (SNEA) são alguns exemplos de possibilidades apresentadas para professores interessados em melhorar seu conhecimento a respeito do tema. A UFRGS oferece um curso de extensão chamado “Explorando o Universo: dos Quarks aos Quasares”, com duração de um semestre, em um encontro semanal. USP, UNESP e INPE ofertam todos os anos uma semana de formação em astronomia, geralmente no mês de julho. O ON dispõe de cursos presenciais ou *online* ao longo do ano inteiro. O EREA propicia encontros regionalizados, percorrendo várias cidades do Brasil ao longo do ano para promover formação em Astronomia. O SNEA tem uma proposta diferente, com seminários, apresentação de trabalhos e mesas redondas, e tem frequência bianual. Desta forma, é possível tentar suprir carências de formação por meio da participação nesses encontros e cursos, com regularidade.

Outra carência observada no ensino de Física é a precariedade de abordagem em tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio (EM). Segundo pesquisa de Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007), de 10 professores entrevistados em uma pesquisa sobre o tema, sete nunca trabalharam com Física Moderna. E para tal, segundo a mesma pesquisa, alegam falta de tempo, prioridade para vencer conteúdos que serão cobrados no vestibular, ou falta de material didático apropriado. Em geral, quando o tema é abordado, é feito com superficialidade. De acordo com Ostermann e Cavalcanti (1999), a problemática da FMC no EM e na formação inicial e continuada de professores vêm sendo amplamente discutida pela comunidade de pesquisadores em ensino de Física. No entanto, a literatura existente sobre o tema é, em geral, dirigida à simples apresentação (supostamente acessível ao professor) de tópicos modernos ou ao levantamento de justificativas que apoiem a asserção de que é preciso renovar os conteúdos escolares de Física (Ostermann & Cavalcanti 1999).

Dado o nível de abordagem precário dedicado à FMC no EM, identificada por diversas pesquisas na área e a necessidade de incluir FMC nas aulas de Física,

por que não fazer auxiliando-se na riqueza de fenômenos presentes nas estrelas? Os fenômenos que estão envolvidos na evolução de uma estrela são mais do que suficientes para incluir vários aspectos da FMC em aulas de Física no EM, por exemplo, Espectro Eletromagnético, Quantização da Energia, Radiação de Corpo Negro e conceitos como Luminosidade, Cor e Temperatura Superficial.

Por outro lado, também, ressalta-se a importância do uso de ferramentas que facilitem processo de ensino-aprendizagem. Em especial, o uso de *softwares* permite fazer simulações de fenômenos de forma clara e prática, possibilitando ao aluno uma melhor idéia daquilo que se está ensinando à medida que o mesmo tem a oportunidade da visualização dinâmica. De acordo com Valente (1993), o computador pode ser usado também como ferramenta educacional. Segundo esta modalidade o computador não é mais o instrumento que ensina o aprendiz, mas a ferramenta com a qual o aluno desenvolve algo, e, portanto, o aprendizado ocorre pelo fato de estar executando uma tarefa por intermédio do computador. Ainda, segundo Frederico e Gianotto (2011) a utilização do computador é um dos temas debatidos entre professores das mais diversas áreas e modalidades de ensino, devido às suas múltiplas ferramentas, que podem ser exploradas com a intenção de contribuir nos processos de ensino e aprendizagem.

Em Astronomia, existem algumas opções de programas para fins educacionais, entre eles o programa *Stellarium*¹, o qual é disponibilizado gratuitamente na internet, podendo ser instalado nos computadores das salas de informática, que boa parte das escolas possui e que, em geral, são subutilizadas. Segundo Frederico e Gianotto (2011), o uso do laboratório nos estabelecimentos de ensino tem se resumido quase que exclusivamente a pesquisas na Internet. Neste sentido, é necessário que se criem meios para que esses recursos, tão importantes nos dias atuais, sejam explorados com mais eficiência, dando condições para que a tecnologia possa colaborar com a construção do conhecimento de forma significativa. Heidemann, Araujo e Veit (2012) veem modelos computacionais como “recortes” da realidade, ou seja, são implementações computacionais de modelos específicos, e, como tais, desprezam diversos aspectos do sistema real, a fim de focar a atenção em certos aspectos particulares da natureza, o que facilita a compreensão do fenômeno físico.

¹ www.stellarium.org/pt

Retornando ao *Stellarium*, o número de atividades que se pode desenvolver tendo o apoio deste *software* é muito grande. Em pesquisa realizada em revistas e cadernos de Ensino de Física sobre trabalhos na área, foram encontrados alguns trabalhos publicados tendo o *Stellarium* como tema principal, conforme a Tabela 1. Na presente proposta de Mestrado profissional o *Stellarium* auxiliará na construção pelos alunos, de um diagrama Hertzsprung-Russell (diagrama H-R). O diagrama H-R, que será contextualizado na seção 6, é de grande importância para a astrofísica (Oliveira Filho e Saraiva, 2014²). É utilizado para classificar as estrelas quanto à sua luminosidade e temperatura, o que possibilita identificar em que fase evolutiva cada estrela se encontra. Pelo *Stellarium* pode-se coletar os parâmetros astrofísicos das estrelas que serão representadas no diagrama. Através destes parâmetros e do diagrama H-R construído conjuntamente pelos alunos, trabalha-se a física envolvida, em especial aspectos da FMC.

Tabela 1. Trabalhos publicados relacionados ao software Stellarium

Tipo de trabalho	Nome do trabalho	Local de publicação	Autor/Ano
Dissertação	O <i>Stellarium</i> como Estratégia para o Ensino de Astronomia	Universidade Estadual de Santa Cruz (Ilhéus- Ba)- Programa de mestrado em ensino de física	Leomir Batista Neres / 2017
Artigo	Objeto Virtual de Aprendizagem no Ensino de Astronomia: Algumas Situações Problema a partir do <i>Software Stellarium</i>	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	Marcos Daniel Longhini, Leonardo Donizette de Deus Menezes/ 2010
Artigo	Observação do Céu Aliada à Utilização do Software Stellarium no Ensino de Astronomia nas Turmas de Educação de Jovens e Adultos (EJA)	Revista Latino-Americana de Ensino em Astronomia- RELEA	Adriana Oliveira Bernardes/2010
Artigo	O antigo adapta-se ao moderno: verificação do valor da Unidade Astronômica a partir do trânsito de Vênus reproduzido com o <i>software stellarium</i>	Revista Brasileira de Ensino de Física	Bruno Rizzuti, Joilson Souza da Silva / 2016

Fonte: Acima mencionado na terceira coluna local de publicação

² Ver também https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n29_Muller/

2 – OBJETIVO

2.1 Objetivos Gerais

Acreditando no potencial motivacional que a astronomia (Langui & Nardi 2014) é capaz de alcançar e na necessidade de se abordar temas relacionados à FMC nas aulas de Física, propomos um trabalho que reúne astronomia e FMC mediado pela utilização de ferramenta tecnológica através do *software Stellarium*. Objetiva-se deslocar a prática didática tradicional - onde o professor é o centro das ações – para um processo colaborativo professor-aluno, aluno-aluno, em que a figura do professor seja muito mais de mediador do que de detentor do conhecimento. Busca-se a compreensão por parte do aluno, dos conceitos físicos envolvidos, em especial aspectos da FMC.

Para tanto, é proposto um conjunto de atividades práticas, as quais são importantes para consolidar conceitos a respeito da astronomia. Um exemplo simples pode ser o de mostrar (e fazer junto) com um grupo de alunos, que o meio-dia verdadeiro em um determinado local se dá quando temos a menor sombra projetada no plano horizontal de uma haste posicionada perpendicularmente a este plano. Ensinar o aluno marcar os pontos das sombras, ensiná-lo a ter paciência e observar o que ocorre em uma hora de prática, trocar experiências durante o processo, são maneiras de mostrar para o aluno uma das formas de se fazer ciência. No entanto, especialmente por motivos climáticos, nem sempre podemos fazer atividades práticas em astronomia. Tanto o céu nublado como a chuva, ou os horários do dia inviabilizam atividades práticas neste caso. Porém, se não quisermos depender das condições climáticas para realizar atividades em astronomia que levam em conta o movimento do Sol, por exemplo, podemos fazê-lo através do uso de *softwares* específicos para este fim. O programa *Stellarium* é uma das possibilidades na área de astronomia. Familiarizar o aluno com o programa e oportunizar que o mesmo utilize-o em sala de aula através de orientações iniciais são ações com boas chances de desenvolver no aluno o gosto pela descoberta e a iniciativa pela pesquisa, uma vez que a gama de atividades possíveis de serem feitas através do *Stellarium* é muito grande.

Também, a introdução de ferramentas computacionais na sala de aula se faz cada vez mais necessária tendo em vista a facilidade, em geral, que os alunos

têm para entender como usar *softwares*, uma vez que estão familiarizados com os jogos disponíveis na internet e afins. Pois, aproveitar esta familiaridade do aluno com a informática é uma boa maneira de utilizar a ferramenta computador na mediação do processo de ensino e aprendizagem. Também por isso, a inserção dos recursos relacionados à informática em sala de aula foi um dos objetivos deste trabalho.

2.2- Objetivos Específicos

Utilizar o *software Stellarium* como ferramenta para coleta de parâmetros astrofísicos estelares fornecidos pelo *software*, buscando construir coletivamente com os alunos, um diagrama H-R para um conjunto de estrelas selecionadas, e utilizar este processo de construção para abordar conceitos relacionados à FMC, como por exemplo – espectro eletromagnético, quantização da energia, radiação de corpo negro, luminosidade, cor e temperatura em função do comprimento de onda- a partir da exploração dos fenômenos físicos que ocorrem na vida e nos processos evolutivos das estrelas. Também é objetivo deste trabalho organizar um material em forma de seqüência didática que auxilie o professor de Física como alternativa metodológica.

3 – MOTIVAÇÕES

Procurando contextualizar a história deste trabalho, optou-se por escrever esta seção, que será um relato em primeira pessoa com a intenção de identificar os motivos pelos quais escolhi trabalhar FMC por meio da astronomia e com auxílio do *software Stellarium*. Faço isso porque considero relevante destacar o papel do Mestrado Profissional em Ensino de Física (MPEF) da UFRGS na formação de professores de Física. Tive oportunidades de ingresso em dois programas diferentes antes de ingressar no MPEF, mas não identifiquei nos programas algo que buscasse como diferencial na minha formação. O regimento do MPEF traz em seu artigo 2, que o programa objetiva a melhoria da qualificação profissional de professores de Física em exercício na educação básica e de professores de ensino superior que atuam nas Licenciaturas em Física ou afins. O MPEF vê seu público alvo no professor que está em sala de aula e intenciona torná-lo mais capaz quanto ao domínio de conhecimentos necessários para desempenhar o ofício de ser professor. Entendi que o ingresso no MPEF faria a diferença em minha qualificação e consegui ingressar no mesmo.

Da graduação pouco ficou a respeito das vertentes teóricas utilizadas no processo de ensino-aprendizagem. A disciplina Teorias de Aprendizagens, oferecida no início do MPEF, foi um marco em relação à identificação de formas de conduzir o processo de ensino em sala de aula. Uma oportunidade de conhecer mais profundamente uma série de teorias diferentes e de identificar-me enquanto professor com alguma(s) delas, o que possibilita planejar aulas de forma mais crítica e explorar melhor o meu potencial e o potencial dos alunos. Em minhas aulas sempre procuro propiciar trabalhos com alunos organizados em grupos, com trocas entre eles, buscando uma dinâmica colaborativa, sem rigidez, com autoridade de professor, mas sem ser autoritário. Nesse sentido, encontrei na Teoria de Vygotsky, um modelo mais próximo de minha prática, em que busco através da mediação e da interação professor-aluno, aluno-aluno, mostrar caminhos para que o aluno possa apropriar-se daquilo que é estudado. Imputo à disciplina Teorias de Aprendizagens, oferecida pelo MPEF, uma importância fundamental, uma vez que mostra possibilidades e provoca a reflexão do professor quanto à sua prática, possibilitando ao mesmo identificar-se com alguma das teorias apresentadas e adotar uma delas

de forma mais consciente e com propriedade no sentido de entendê-la e saber aplicá-la.

Da mesma forma, a disciplina de Modelagem Computacional oferecida no MPEF é fundamental para que o professor conheça possibilidades de uso da informática como ferramenta de alto potencial no ensino. Hoje, trabalhar em Física desconsiderando as possibilidades dos *softwares* é andar na contramão de boas metodologias. Tem-se que aproveitar toda a desenvoltura que nossos estudantes demonstram com as mídias computacionais e fazer bom uso delas para fins didáticos. Na graduação não tive disciplinas com o enfoque em *softwares* ou modelagem computacional. Dessa forma, a disciplina de Modelagem Computacional presente no programa do MPEF trouxe um olhar diferente para as possibilidades abertas pelo uso da informática em sala de aula. Algo que até então não se fazia presente em minhas aulas.

Claro que todas as disciplinas oferecidas pelo MPEF foram muito importantes para minha melhor qualificação. Porém, as duas mencionadas nos dois parágrafos anteriores, considero mais relevantes enquanto reflexão sobre a prática didática. Elas oportunizaram um olhar para dentro, reflexivo, e provocaram primeiro, identificação com uma teoria de aprendizagem e, segundo, a introdução de ferramentas de informática em sala de aula como um recurso didático muito significativo.

A utilização do *Stellarium* realizada neste trabalho passou pela mudança de prática didática experimentada a partir da disciplina de Modelagem Computacional, bem como é o resultado de diferentes aprendizagens vivenciadas no MPEF. A abordagem da Física a partir da Astronomia era uma vontade que não tinha muita sustentação, até que comecei a participar de cursos de formação em astronomia, como os oferecidos pelo INPE, pela USP, pelos cursos de extensão da UFRGS, pelo EREA e pela participação como professor responsável da Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA). A participação nessas formações deu mais consistência e coragem para explorar fenômenos físicos a partir da astronomia, porém ainda estava indefinido o rumo a ser tomado. Então, fui selecionado no processo seletivo organizado pela Sociedade Brasileira de Física (SBF), com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), para a Escola de Física CERN (Centro Europeu de Pesquisas Nucleares), e tive a

oportunidade de realizar formação de um dia no Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP) em Lisboa, Portugal, e mais uma semana de formação no CERN, em Genebra, Suíça, que abriga o maior acelerador de partículas que conhecemos. Nesta formação, predominantemente se estudou FMC e ficou clara a necessidade de dedicar a ela mais espaço nas aulas de Física. Na volta do CERN, tive a oportunidade de ministrar em dois Encontros Regionais de Ensino de Física, organizados pelo Instituto de Física da UFRGS, um minicurso de 6 horas a respeito das experiências vivenciadas no CERN. Nas duas ocasiões realizei com os alunos oficina de construção de cinco câmaras de nuvens (experimento que permite identificar os traços das partículas quando estas atravessam a câmara).

Assim, a aspiração de estudar conceitos físicos a partir da astronomia ganhou a percepção da necessidade de aumentar o espaço da FMC nas aulas de Física. O elo entre astronomia e FMC se formou quando fiz no MPEF a disciplina de Ensino de Astronomia, com o professor Alan Alves Brito. Em uma conversa sobre um possível projeto de dissertação, o professor sugeriu fazer este *link* através de atividades de construção de um diagrama H-R com os alunos, utilizando o *Stellarium*. Nesta proposta os conceitos de FMC seriam abordados durante as aulas sobre evolução estelar e no processo de construção do diagrama H-R. Neste contexto, surgiu este trabalho.

4 - REFERENCIAL TEÓRICO

Uma das características que norteou este trabalho está no protagonismo do aluno, que foi buscado pela interação aluno-professor e aluno-aluno. Dessa forma, este trabalho ampara seu referencial teórico em Lev Vygotsky (ver Lima & Pereira 2014 para uma revisão).

Desenvolvendo a ideia do uso de ferramentas pelo homem para alterar a natureza de acordo com sua vontade, a teoria de Vygotsky para o desenvolvimento das funções mentais superiores propõe que a elaboração de processos mentais e o seu desenvolvimento se dá a partir da socialização. Entende-se por socialização o processo interpessoal pelo qual ocorre troca de significados entre pessoas e esta troca é capaz de modificar as formas de pensamento do sujeito tornando-as mais elaboradas.

Em seus estudos com crianças, Vygotsky observou que através da interação social (relação interpessoal) a criança troca significados e modifica seus processos mentais por meio da interiorização e reelaboração de novos conceitos em um processo interno do indivíduo (intrapessoal) (VYGOTSKY, 2007). *Instrumentos, signos e mediação são conceitos* fundamentais na teoria vygotskiana, pois é ancorado neles que Vygotsky busca desvendar os processos mentais superiores. O desenvolvimento mental superior está relacionado àquela capacidade que o ser humano tem, diferente dos animais, de através de suas transformações, alterar a natureza de acordo com seus propósitos.

Do ponto de vista do ensino, Vygotsky defende que qualquer situação de aprendizado na vida de uma criança tem sempre uma história prévia.

As crianças começam a estudar aritmética na escola, mas muito antes elas tiveram alguma experiência com quantidades – tiveram de lidar com operações de divisão, adição, subtração e determinação de tamanho. Consequentemente, as crianças têm a sua própria aritmética pré-escolar (VYGOTSKY, 2007, p.94).

A partir da ideia de desenvolvimento mental, Vygotsky entende que existem tarefas que a criança pode desempenhar sozinha e tarefas que ela só consegue fazer com auxílio de um adulto, de uma instrução ou de um companheiro mais capaz. Assim, todas aquelas tarefas das quais uma criança consegue dar conta sozinha, medem o nível de desenvolvimento real da criança. E aquelas tarefas

das quais, para dar conta, a criança necessita de algum tipo de auxílio (de um adulto, de um instrumento ou de um companheiro mais capaz), medem o nível de desenvolvimento potencial da criança. Estes dois níveis definem para Vygotsky um novo conceito, denominado de zona de desenvolvimento proximal (ZDP).

Quando se demonstrou que a capacidade de crianças com iguais níveis de desenvolvimento mental, para aprender sob a orientação de um professor, variava enormemente, tornou-se evidente que aquelas crianças não tinham a mesma idade mental e que o curso subsequente de seu aprendizado seria, obviamente, diferente. Essa diferença entre doze e oito ou entre nove e oito, é o que chamamos de a zona de desenvolvimento proximal. Ela é a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes (VYGOTSKY, 2007, p.97).

Portanto, o conceito de ZDP de Vygotsky estabelece uma medida daquelas funções mentais que estão em processo de maturação. Vygotsky denomina a essas funções como “brotos” ou “flores” do desenvolvimento e não como “frutos” do desenvolvimento. Neste sentido, o estudo da ZDP permite identificar tanto as funções já interiorizadas na criança, quanto àquelas que estão em processo de desenvolvimento.

Assim, a zona de desenvolvimento proximal permite-nos delinear o futuro imediato da criança e seu estado dinâmico de desenvolvimento, propiciando o acesso não somente ao que já foi atingido através do desenvolvimento, como também àquilo que está em processo de maturação (VYGOTSKY, 2007, p.98).

Dessa forma, para que se possa definir o estado de desenvolvimento mental de uma criança, é necessário que se conheça os dois níveis: o nível de desenvolvimento real e a zona de desenvolvimento proximal. A ação dentro da zona de desenvolvimento proximal amadurece as funções mentais superiores e propicia uma evolução para o nível de desenvolvimento real, de forma que o que uma criança é capaz de fazer com auxílio de companheiros mais capazes hoje, poderá fazer sozinha no futuro, atingindo assim o nível de conhecimento real.

A aprendizagem deve gerar a zona de desenvolvimento proximal, a partir da qual vários processos internos de desenvolvimento são despertados nas crianças que, por meio das interações sociais (com as pessoas em seu ambiente ou em cooperação com seus companheiros) são internalizados e tornam-se parte do desenvolvimento independente da criança.

O desenvolvimento deste trabalho foi amparado na interação social aluno-aluno, aluno-professor, buscando uma ação cooperativa entre os atores da sala de aula com a perspectiva de construção conjunta e formação de conceitos mais elaborados pelos alunos em relação aos que eles tinham no início da aplicação das atividades.

5 – METODOLOGIA

O programa de atividades proposto neste trabalho foi realizado em seis aulas em uma turma do segundo ano do EM no Colégio Estadual Piratini, em Porto Alegre. Neste colégio a disciplina de Física tem carga horária de três períodos semanais de 50 minutos cada, porém o trabalho foi aplicado em dias que tinham dois períodos conjugados, o que possibilitou encontros semanais de 100 minutos. Dos seis encontros três foram de 100 minutos e três acabaram sendo 150 minutos. A turma em que foi desenvolvido o trabalho era composta por 31 adolescentes com idades entre 15 e 17 anos, sendo que 17 eram meninas e 14 meninos.

A grade curricular no Colégio Piratini prevê para o Segundo Ano do EM um programa que começa por termodinâmica no primeiro trimestre, ondas no segundo e óptica no terceiro (grandes áreas, sem as subdivisões). A opção de realizar este trabalho em uma turma de Segundo Ano foi feita justamente porque o programa desenvolvido neste ano aborda muitos temas comuns à física estelar.

As aulas versaram predominantemente sobre a formação, evolução e morte estelar, explorando aspectos de FMC envolvidos nos fenômenos presentes na física das estrelas como radiação de corpo negro, cor, temperatura, luminosidade, brilho, energia, reações nucleares, espectro eletromagnético, processos de nucleossíntese estelar, bem como interpretação gráfica e matemática em relação às grandezas físicas envolvidas. A culminação deste trabalho foi a construção coletiva e interpretação de dois diagramas H-R para um conjunto de estrelas previamente selecionadas.

O desenvolvimento das atividades foi alicerçado na teoria de *Vygotsky*, sucintamente descrita na seção anterior. Os alunos trabalharam em grupos, que variavam em quantidade e composição aula a aula, discutindo conceitos (entre si e com o professor), fazendo uso do programa *Stellarium* e de imagens astrofísicas no desenvolvimento das tarefas. A partir da interação aluno-professor e aluno-aluno se buscou reconhecer a ZDP com o intuito de amadurecer funções mentais superiores e atingir um estado de desenvolvimento mental real mais aprimorado, tornando o aluno capaz de estabelecer relações sobre os temas trabalhados ao final do projeto (com potencial de verbalização do estudado, por exemplo), que não eram viáveis antes dele, caracterizando um amadurecimento das funções mentais superiores. O

trabalho em grupos de alunos também objetivou que a interação social e troca de significados fosse enriquecida e colaborasse na construção coletiva de uma aprendizagem consistente e independente, pressupostos da teoria *vygostkiana*.

6 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

6.1 - Espectro Eletromagnético

O arco-íris formado pela dispersão da luz do Sol ao atravessar as gotículas de água suspensas na atmosfera, após processos de refração e reflexão, é uma evidência de que o branco da luz solar tem outros elementos em sua constituição. Segundo Gaspar (2010), Newton mostrou que existem dois ângulos de incidência da luz do Sol, entre 40° e 42° e entre 52° e 55° que podem originar esse fenômeno. Se posicionarmos um prisma de vidro de tal modo que um feixe de luz solar o atravesse, também podemos decompor esta luz nas cores que vemos no arco-íris. A luz do Sol (branca) que incide no prisma, se apresenta ao atravessá-lo, nas cores violeta, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho. Estas cores estão presentes no espectro da luz visível. A luz visível é um dos tipos de radiação eletromagnética que integra o que chamamos de espectro eletromagnético; que se estende desde o comprimento de onda de rádio (da ordem de grandeza de até 10^8m), até o comprimento de onda dos raios gama (ordem de grandeza de 10^{-16}m).

A radiação eletromagnética, seja ela luz visível, ondas de rádio, ultravioleta ou em qualquer outra janela, viaja, no vácuo, à velocidade $c \sim 300.000$ km/s, e existe uma relação entre esta velocidade (c), o comprimento de onda (λ) e a frequência (f ou ν) da radiação que é dada por:

$$c = \lambda \cdot f \quad (1)$$

No Sistema Internacional de Unidades e Medidas (SI), a unidade de medida de c é m/s; de λ é m e de f é s^{-1} (hertz).

A Figura 1 mostra uma representação de um espectro eletromagnético.

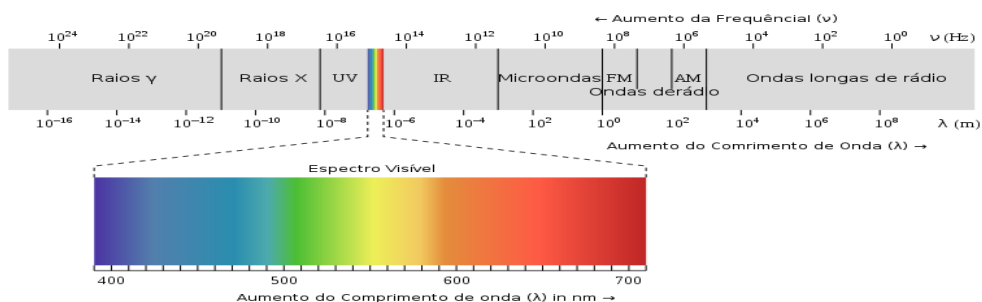


Figura 1: Representação do espectro eletromagnético. O espectro da luz visível em destaque é uma pequena parcela de todo o espectro eletromagnético. Fonte: WIKIPÉDIA (ver Referências Bibliográficas).

A energia de uma onda eletromagnética está associada à sua frequência, de forma que quanto maior for a frequência da radiação, maior será sua energia. Observando o espectro da luz visível, percebe-se que a frequência da cor violeta é maior do que a da vermelha, logo, a energia associada à cor violeta é maior que a energia associada à cor vermelha, que é a cor de menor frequência do espectro da luz visível.

Através da análise fotométrica (contagem de partículas de luz) e espectroscópica os astrônomos são capazes de determinar a cor, a temperatura e a luminosidade das estrelas, o que torna possível estudar todo o processo de evolução estelar, conforme veremos.

6.2 - Radiação de Corpo Negro

A radiação emitida por um corpo quente pode ser usada para medir sua temperatura (Eisberg & Resnick 1979), portanto, se analisarmos a cor (frequência da radiação) emitida por um objeto aquecido, podemos inferir a temperatura do mesmo. Tomemos como exemplo uma haste de ferro que será aquecida por um maçarico utilizado pelos soldadores em oficinas mecânicas. Inicialmente, consideremos a barra na temperatura ambiente. Por óbvio não percebemos nada além da cor da barra enquanto esta não é aquecida, pois neste caso, irradia energia na faixa do infravermelho, que é invisível aos nossos olhos. Quando começa o aquecimento, a primeira cor a ser notada é a vermelha apagada e depois vermelho incandescente. Mantendo a chama do maçarico em contato com a barra, ela ficará em um tom laranja brilhante. Esquentando mais, a barra torna-se amarela brilhante. Seguindo o aquecimento se a haste não fundir, ela alcançará em último estágio a cor azul brilhante.

Pela descrição deste experimento percebe-se que a cor do corpo cuja temperatura é menor é a vermelha, dado que ela aparece no início do aquecimento da barra. A temperatura vai progressivamente crescendo à medida que a cor vai mudando em direção ao azul. Conforme destacado na seção anterior, a frequência do vermelho é menor que a do azul e esta característica está associada às temperaturas que os corpos têm quando emitem radiação em uma determinada frequência. Ou seja, um objeto que emite radiação na faixa de frequência do vermelho é mais frio do que um objeto que irradia na faixa de frequência do azul.

A energia associada à radiação pôde ser mais bem entendida e calculada corretamente a partir das idéias de Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858 – 1947), que em 1900, postulou que a energia eletromagnética só podia se propagar em pacotes discretos, aos quais chamou de quanta ou fótons, sendo que a cada fóton é atribuído um valor de energia dado por:

$$E = n \cdot h \cdot f \quad (2)$$

onde: $n = 0,1,2,3,\dots$ é denominado número quântico, $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ é denominada constante de *Planck*. No SI, a unidade de medida de energia é o Joule (J).

A ideia de quantização da energia, levada a cabo por Planck, foi decisiva para explicar a física da radiação de corpo negro - que será melhor explicado adiante - e foi fundamental no desenvolvimento da Física Quântica.

Albert Einstein (1879 – 1955), em 1905, para explicar o efeito fotoelétrico³ apoiou-se na teoria de *Planck* e assumiu a quantização da energia (E) para fótons, de forma que a energia de um fóton pode ser obtida por:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Usando a equação (3) podemos calcular a diferença de energia do fóton associada aos comprimentos de onda nas faixas extremas descritas na experiência da haste.

Assim, para o comprimento de onda da luz vermelha, $\lambda = 700 \text{ nm}$ temos:

$$E = \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{700 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$E = 2,84 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Para o comprimento de onda da luz azul, com $\lambda = 500 \text{ nm}$, fica:

$$E = \frac{6,67 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{500 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$E = 3,98 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Pelo exposto, podemos verificar, que para um mesmo corpo emitindo radiação, o fóton no comprimento de onda do azul é cerca de 1,4 vezes mais

³ A emissão de elétrons de uma superfície, devida à incidência de luz sobre essa superfície, é chamada de efeito fotoelétrico.

energético do que o fóton no comprimento de onda do vermelho. Logo, um corpo que emite radiação na faixa de comprimento de onda do azul é mais quente que um corpo que emite radiação na faixa de comprimento de onda do vermelho.

De uma maneira geral, a forma detalhada do espectro da radiação térmica emitida por um corpo quente depende de algum modo da composição deste corpo. No entanto, a experiência nos mostra que há um tipo de corpo quente que emite espectros térmicos de caráter universal. Estes corpos são chamados, idealmente, de corpos negros, isto é, corpos cujas superfícies absorvem toda a radiação térmica incidente sobre eles (Eisberg & Resnick, 1979). A radiação incidente esquenta o corpo negro, que então reemite a energia absorvida, mas com diferentes intensidades em todos os comprimentos de onda que ele recebeu. O padrão de radiação emitida por corpos negros não depende de suas composições químicas.

A distribuição espectral da radiação de corpo negro é especificada pela quantidade $R_T(\nu)$, chamada radiância espectral. A integral da radiância espectral $R_T(\nu)$ sobre todas as frequências ν é a energia total emitida por unidade de tempo por unidade de área por um corpo negro a temperatura T (Eisberg & Resnick, 1979)

$$R_T = \int_0^{\infty} R_T(\nu) d\nu \quad (4)$$

Pela figura 2 Podemos perceber que R_T cresce rapidamente com o aumento da temperatura. Em 1879 o físico austríaco Josef Stefan (1835-1893) observou que: “um objeto emite energia por unidade de área em uma taxa proporcional à quarta potência de sua temperatura em Kelvin”, ou seja:

$$R_T = \sigma \cdot T^4, \quad (5)$$

onde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ é a chamada constante de Stefan-Boltzmann.

Se medirmos a radiação de um corpo negro em vários comprimentos de onda, podemos obter um gráfico que representa a curva de emissão em todos os comprimentos de onda. O gráfico da figura 2 apresenta curvas de radiação de corpo negro para diferentes temperaturas.

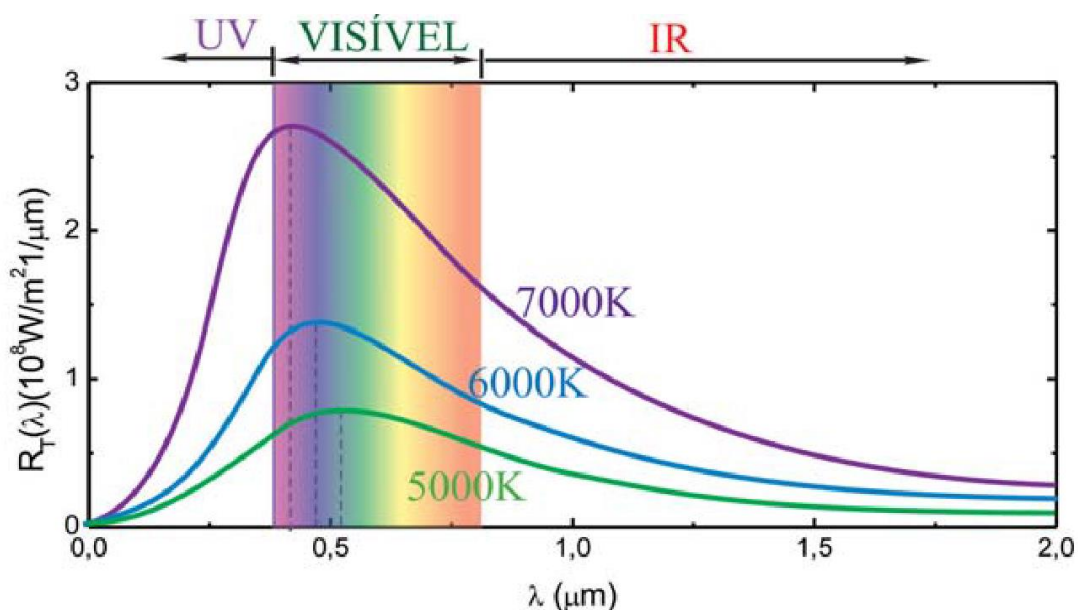


Figura 2: Radiação espectral de um corpo negro em função do comprimento de onda λ para diferentes temperaturas. Fonte: Wikipédia (ver Referências Bibliográficas).

Uma análise do gráfico permite concluir que, à medida que a temperatura aumenta, o pico de radiação se desloca para comprimentos de onda menores, de acordo com a previsão para radiação de corpo negro. O pico de intensidade ($\lambda_{\text{máx}}$) é dado pela relação matemática conhecida como Lei de Wien: “o comprimento de onda de pico da radiação emitida por um corpo negro é inversamente proporcional à sua temperatura”. A Lei de Wien mostra que o pico de intensidade ($\lambda_{\text{máx}}$) para a radiação do corpo negro é dada por:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T},$$

onde a constante $2,898 \times 10^{-3}$ é dada pelas grandezas [comprimento . temperatura], (m.K).

Como podemos observar na expressão (6), quanto maior a temperatura, menor o comprimento de onda e vice-versa. Assim, se quisermos determinar a temperatura de um objeto que emite radiação de corpo negro, devemos conhecer o pico de intensidade máxima ($\lambda_{\text{máx}}$ desta radiação) e então aplicar a Lei de Wien. Fica claro pela expressão (6) que não precisamos conhecer a forma, tamanho, nem mesmo a distância que o corpo está de nós para definirmos sua temperatura.

Como exemplo, imaginemos que para uma dada estrela verificamos que seu $\lambda_{\text{máx}} = 570 \text{ nm}$ (comprimento de onda no ar para o amarelo). Sua temperatura na

superfície (que é diferente da temperatura no núcleo) pode ser determinada pela expressão 6 da seguinte forma:

$$570 \times 10^{-9} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T}$$

$$T = 5084 \text{ K}$$

Conforme podemos ver na Tabela 2, o resultado obtido acima equivale à temperatura de uma estrela entre o amarelo e o alaranjado.

6.3 Magnitude Aparente

A grandeza magnitude, adotada em astronomia, é o parâmetro usado para classificar estrelas de acordo com o seu brilho. A classificação de estrelas devido exclusivamente a seus brilhos teve início com o astrônomo grego Hiparco, no século II a.C., que atribuiu magnitude igual a 1 às estrelas mais brilhantes e magnitude igual a 6 às estrelas com brilho mais fracos, ainda de possível visualização pelo olho humano. Astrônomos desde Hiparco até o também grego Ptolomeu, do século II d.C, classificaram uma grande quantidade de estrelas por este parâmetro. Na classificação estelar por magnitude se estabelece uma escala de comparação de brilho para as diferentes estrelas visíveis no céu. Porém, as estrelas estão a diferentes distâncias da Terra, fato desconhecido na astronomia antiga, quando se acreditava que as estrelas estavam todas incrustadas em uma superfície de uma grande esfera, denominada esfera celeste. Hoje, conhecida a lei do inverso do quadrado da distância para determinação do brilho de uma fonte luminosa, sabe-se que para estrelas de mesmos tamanhos e temperaturas superficiais, a estrela que está duas vezes mais distante apresentará brilho quatro vezes menor. Se estiver três vezes mais longe, seu brilho será nove vezes menor, e assim sucessivamente.

Com o desenvolvimento da astronomia e a introdução de instrumentos óticos que possibilitam olhar cada vez melhor e mais distante, foi possível detectar objetos ainda menos brilhantes que os de magnitude 6. Telescópios espaciais são capazes de enxergar objetos astrofísicos de magnitude 30.

Atualmente, na escala de magnitude, a estrela Vega é considerada de $m = 0,0$, portanto, menor que $m = 1$ na classificação antiga. Como existem astros celestes mais brilhantes que Vega, pela classificação atual, são atribuídos valores

negativos de magnitude para indicação de brilho. Nosso Sol, por exemplo, é a estrela que vemos de maior brilho. Sua magnitude aparente é $m = -26,7$. Sirius, que é a estrela mais brilhante no céu noturno, tem magnitude aparente $m = -1,46$ e a Lua cheia tem $m = -12,8$. Já o planeta Urano tem $m = 5,5$. Adota-se então, valores negativos e positivos para mensurar a magnitude de um astro. Quanto menor (“quanto mais negativa”) for a magnitude, mais brilho terá o astro.

Como na determinação da magnitude aparente não se considera a distância que a estrela está, esta grandeza não revela diretamente as propriedades fundamentais importantes no estudo e classificação estelar. Para que se possa classificá-las adequadamente é necessário conhecer duas outras grandezas importantes, a magnitude absoluta e a luminosidade.

6.4 Magnitude Absoluta e Luminosidade

A magnitude absoluta (M) é a magnitude que cada estrela teria se estivesse a uma distância de 10 parsecs⁴ (10pc) da Terra. Conhecendo o brilho apresentado por uma estrela (sua magnitude aparente), e sua distância real em relação à Terra, é possível determinar a magnitude absoluta para a estrela através da expressão:

$$M = m - 5 \log (d/10) \quad (7)$$

Saber como o brilho de um objeto muda de acordo com a distância é importante para entender a relação entre magnitude aparente e magnitude absoluta. Para tanto, precisamos inserir e entender o conceito de luminosidade (L).

Consideremos uma fonte luminosa a uma dada distância, r , onde está posicionado um detector de radiação. A radiação medida pelo detector fornece a informação da quantidade de energia por unidade de área por unidade de tempo emitida pela fonte. A esta quantidade de energia por unidade de área por unidade de tempo, chamamos de fluxo (F). Sendo a energia por unidade de tempo, equivalente à potência; o fluxo é a potência por unidade de área. No SI o fluxo tem unidades Watt.m^{-2} .

⁴Parsecs é o plural de parsec (pc), uma unidade de medida utilizada em astronomia. 1pc equivale a 3,26 anos-luz. 1 ano-luz é a distância percorrida por uma onda eletromagnética no período de um ano.

Para uma estrela de raio R , o fluxo é dado por:

$$F = \frac{L}{4\pi R^2}, \quad (8)$$

onde L é a luminosidade da estrela e equivale à energia total emitida por unidade de tempo (potência) em todas as direções.

Analisando a equação (8), é fácil perceber que o fluxo é diretamente proporcional à luminosidade da estrela e inversamente proporcional ao quadrado da distância. Ou seja, para um aumento por um fator de 5 em luminosidade, teremos 5 vezes mais fluxo. Já se aumentarmos a distância por um fator de 5, teremos um fluxo 25 vezes menor.

Ainda, a equação 8 pode ser escrita como:

$$L = F4\pi R^2 \quad (9)$$

ou seja, o produto do fluxo pela área da estrela nos informa sua luminosidade que no SI é expressa em Watts.

A luminosidade e a magnitude absoluta de uma estrela estão diretamente associadas, de forma que, quanto maior a luminosidade, maior (mais negativa) é a magnitude absoluta.

6.5 - Classe Espectral

As estrelas são classificadas no diagrama H-R pelos parâmetros luminosidade e temperatura. Em um esquema de classificação vigente no início do século XIX, as estrelas eram assinaladas com uma letra entre A e P, dependendo da intensidade das linhas de Balmer (Oliveira Filho & Saraiva, 2014).

O esquema utilizado atualmente tem origem no início do século XX a partir dos trabalhos de Edward Charles Pickering (1846 - 1919), Williamina Fleming (1857 -1911), Antonia Caetana de Paiva Pereira Maury (1886 -1952), Annie Jump Cannon (1863 -1941) e colaboradores do Observatório de Harvard. Annie Cannon, por exemplo, classificou 225.000 estrelas até magnitude 9 entre 1918 e 1924. Também com base na intensidade das linhas de Balmer, ela percebeu que as estrelas iam de azuis-esbranquiçadas a avermelhadas.

A classificação espectral usada atualmente, que ficou conhecida como classificação de Harvard, coloca as estrelas em ordem decrescente de temperaturas e é apresentada pela seguinte seqüência: OBAFGKM, onde a estrela de classe O é mais quente que a de classe B, que é mais quente que a de classe A,..., que é mais quente que a de classe M. Como exemplo pode dizer que Rigel, da Constelação de Orion, é uma estrela de classe espectral B, com temperatura superficial de 20.000K, sendo classificada como uma Supergigante Azul. Já Betelgeuse, da mesma constelação, é uma estrela tipo M, tratando-se de uma Supergigante Vermelha com temperatura de superfície igual a 3.000K.

A seqüência de classificação OBAFGKM é subdividida em 10 partes (numeradas de zero a 9) . Assim, uma estrela tipo O pode ser O0, O1, O2...,O9; estrela tipo B pode ser B0, B1, B2,...B9. Passando por todas as classes até M0,...,M9. Esta subdivisão ajusta a classificação da estrela dentro da classe espectral, sendo o 0 um nível mais quente que o 1, o 1 mais quente que o 2,..., o 8 mais quente que o 9. As estrelas tipo O são azuis e tem temperatura efetiva entre 20.000 e 40.000 K e apresentam linhas de HeII (hélio uma vez ionizado) e ultravioleta forte e linhas de HeI fracas. Estrelas tipo B são branco-azuladas com temperatura efetiva de aproximadamente 20.000 K, com linhas de HeI e HII visíveis. As mais frias, tipo M, são estrelas vermelhas com temperaturas efetivas aproximadamente iguais a 3.000 K com bandas moleculares (TiO) muito fortes.

Tabela 2 Apresentação da seqüência espectral de acordo com a classificação Harvard. Cor e temperatura estão relacionadas à classe espectral, com uma estrela de exemplo para cada categoria

Classe Espectral	Cor da Estrela	Temperatura Superficial (K)	Exemplo
O	azul	30.000	Mintaka
B	branco azulado	20.000	Rigel
A	branco	10.000	Sirius
F	branco-amarelado	7.000	Prócion
G	amarelo	6.000	Capella
K	alaranjado	4.000	Aldebarã
M	vermelho	3.000	Betelgeuse

No entanto, a classificação de Harvard só leva em consideração a temperatura da estrela para definir a sua classe espectral com base nas linhas atômicas e/ou moleculares presentes nos espectros estelares. E, a luminosidade L , também pode ser expressa por:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4, \quad (10)$$

De acordo com a expressão 10, duas estrelas com mesma temperatura superficial terão luminosidades diferentes em função de seus raios, de forma que quanto maior este for, maior será a luminosidade da estrela. Assim, foi preciso introduzir classes de luminosidade de acordo com a largura das linhas espectrais.

William Wilson Morgan (1906 -1994), Philip Childs Keenan (1908 – 2000) e Edith M. Kellman (1911 – 2007), do Observatório de Yerkes, introduziram as seis diferentes classes de luminosidades, baseados nas larguras das linhas espectrais que são sensíveis à gravidade superficial (Oliveira Filho & Saraiva, 2014).

Assim, as classes de luminosidades usadas no diagrama H-R são:

Ia: supergigantes super luminosas;

Ib : supergigantes;

II: gigantes luminosas;

III: gigantes;

IV: subgigantes

V : anãs

Alguns exemplos de classe de luminosidade: Spica, com temperatura maior que 20.000K, Rigel com temperatura de 11.000K e Betelgeuse, com temperatura de 3.500K, são exemplos de estrelas supergigantes super luminosas, portanto de classe de luminosidade Ia. Aldebaran, com $T = 3.900\text{K}$ e Pollux, com $T = 4.800\text{K}$, são exemplos de estrelas gigantes, logo, pertencem à classe de luminosidade III. O nosso Sol, com $T = 5.800\text{K}$ e Próxima Centauro, com $T = 3.000\text{K}$, são estrelas de classe de luminosidade V e são denominadas estrelas anãs localizadas na sequência principal.

6.6 - O Diagrama Hertzsprung-Russell (diagrama H-R)

O diagrama H-R é um diagrama crucial da Astronomia e Astrofísica. Ele é utilizado na classificação de estrelas segundo suas fases evolutivas. É originário de pesquisas do astrônomo holandês Ejnar Hertzsprung (1873 -1967), em 1911, e, independentemente, dois anos mais tarde, do astrônomo americano Henry Norris Russell (1877 -1957). Ambos observaram um padrão na distribuição ou povoamento de estrelas quando associavam as grandezas luminosidade estelar e suas respectivas temperaturas de superfície.

Assim, no diagrama H-R apresentado na Figura 6, representamos as estrelas segundo sua luminosidade ou magnitude absoluta (identificada no eixo Y, das ordenadas, do plano cartesiano), em função da temperatura ou classe espectral (identificada no eixo X ou eixo das abcissas). O diagrama H-R é dividido em regiões que contemplam as fases evolutivas das estrelas e todas as estrelas tem seu início na região denominada Seqüência Principal, quando fundem H em He. O fator que determina onde uma estrela se localiza na seqüência principal é sua massa: estrelas mais massivas são mais quentes e mais luminosas (Oliveira Filho & Saraiva, 2014).

No diagrama H-R as estrelas mais massivas na seqüência principal estão localizadas mais ao alto da faixa diagonal, onde são maiores a temperatura e a luminosidade. Após deixarem a região da seqüência principal, as estrelas ocuparão outras regiões do diagrama H-R. O Sol, por exemplo, depois de sair da seqüência principal, evoluirá para uma estrela tipo Gigante Vermelha e depois para uma Anã Branca, que é seu destino final. Como não é objetivo deste tópico explorar com detalhes a evolução estelar, e sim dar uma idéia de como nos orientamos pelo diagrama H-R, sugere-se ao leitor interessado, que busque em, por exemplo, Oliveira Filho & Saraiva, 2014, maiores informações a respeito do tema evolução estelar.

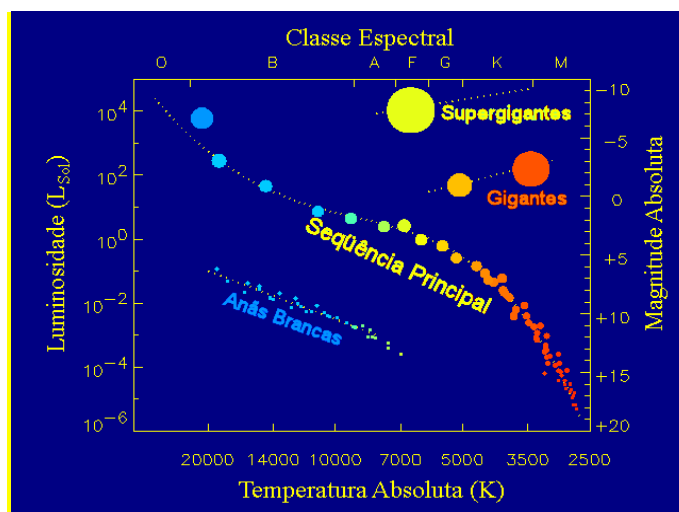


Figura 3: Representação esquemática de um diagrama H-R e suas regiões.

Fonte: http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/hr/diag_hr.htm. Acesso em 10 de setembro de 2017.

Como se pode observar na Figura 6, o eixo Y (lado esquerdo da figura) representa a luminosidade L em função da luminosidade solar (L_{\odot}). Convenciona-se que $L_{\odot} = 10^0$, onde as luminosidades variam entre 10 mil vezes mais até 1 milhão de vezes menos a luminosidade solar. Porém, conjuntos de diferentes estrelas geram diferentes diagramas H-R, pois existem estrelas com luminosidades da ordem de 1 milhão de vezes mais luminosas do que o Sol. No eixo das abcissas (inferior) temos representada a grandeza temperatura com a linha de classe espectral (eixo superior) como referência.

Analisando o diagrama podemos perceber que na sequência principal a luminosidade cresce com a temperatura, ou seja, as estrelas mais luminosas são as mais quentes. Ainda, a temperatura cresce para a esquerda de quem olha o diagrama, e a luminosidade cresce para cima. Podemos construir tantos diagramas H-R quantos quisermos.

A aparência de um diagrama H-R de estrelas pertencentes a um determinado aglomerado de estrelas depende fortemente da idade do aglomerado e, por isso, esses diagramas são importantes para estudos de evolução estelar (Oliveira Filho & Saraiva, 2014). Através do diagrama H-R também podemos calcular a massa das estrelas, seus raios e suas distâncias até a Terra. Pois, se conhecemos pelo diagrama H-R, a luminosidade e a temperatura de uma determinada estrela, podemos utilizar a equação (10) para calcular o seu raio R .

Como o diagrama H-R fornece valores de luminosidade em função da luminosidade solar, é conveniente trabalhar com o valor desta, ou seja, a luminosidade do Sol vale $L_0 = 3,9 \times 10^{26}$ Watts. Assim, para uma estrela cem vezes mais luminosa que o Sol, por exemplo, basta multiplicar o valor da luminosidade do Sol, $3,9 \times 10^{26}$ Watts por cem e substituir na equação (10), com o valor de temperatura adequado à estrela escolhida, e calcular o valor do raio.

Outra possibilidade que o diagrama H-R oferece é a determinação da distância da estrela até a Terra. Para tanto é necessário primeiramente conhecer a magnitude aparente e o espectro da estrela que se deseja saber a distância. Conhecendo o espectro pode-se determinar a classe espectral da estrela (que equivale à sua temperatura de superfície). Com os dados de temperatura e classe de luminosidade, marca-se no diagrama H-R a posição da estrela e por consequência tem-se a informação de sua magnitude absoluta aproximada que poderá ser lida na escala à margem direita no diagrama.

Magnitude aparente (m), magnitude absoluta (M) e distância (d) – em parsecs (pc) - se relacionam pela seguinte expressão:

$$M = m - 5 \log (d/10) , \quad (11)$$

que pode ser reescrita como:

$$m - M = 5 \log d - 5 \log 10, \quad (12)$$

lembrando que $\log 10 = 1$, fica:

$$m - M = 5 \log d - 5 \quad (13)$$

Assim, conhecendo-se m e M , e usando a equação (13) podemos calcular a distância da estrela com dados coletados a partir do diagrama H-R.

Como o tipo espectral e a classe de luminosidade são obtidos espectroscopicamente, este método de determinação de distâncias é chamado de paralaxe espectroscópica (Comins & Kaufmann, 2010). É um método limitado em precisão por causa do espalhamento das estrelas em cada classe de luminosidade.

Erros de 10% na distância são comuns com o uso da paralaxe espectroscópica. Aceitando tais erros, o poder deste método é que ele pode ser usado para estrelas que se encontram muito mais distantes do que aquelas determinadas por paralaxes estelares (Comins & Kaufmann, 2010). A paralaxe

espectroscópica nos fornece distâncias mesmo para estrelas localizadas em outras galáxias, localizadas a milhares de anos-luz de distância.

Também podemos, pelo diagrama H-R, descobrir a massa de estrelas da região da sequência principal a partir de suas luminosidades. A dificuldade em determinarmos a massa de uma estrela é que esta medida não pode ser feita diretamente e sim por seus efeitos gravitacionais em outras estrelas. Ou seja, para determinar a massa de uma estrela temos que lançar mãos das leis de Newton para a gravitação. De acordo com Comins & Kaufmann (2010), um terço das estrelas próximas de nosso sistema solar são membros de sistemas de estrelas nos quais duas estrelas se orbitam mutuamente.

Ao deduzir a Terceira Lei de Johannes Kepler (1571 - 1630) que diz: “o quadrado do período sideral (P) de um planeta em torno do Sol é diretamente proporcional ao cubo do comprimento do semieixo maior (a) de sua órbita”, ou seja:

$$P^2 = k a^3, \quad (14)$$

Isaac Newton (1642 – 1727) observou uma relação entre massas de estrelas (em termos de massas solares), e a equação de Kepler, concluindo que a soma das massas de um par de estrelas que se orbitam é dada pela seguinte expressão:

$$M_1 + M_2 = a^3 / P^2, \quad (15)$$

onde: $M_1 + M_2$ é a soma das massas das estrelas 1 e 2, respectivamente, em massas solares (M_\odot); a é o semieixo principal da elipse descrita na órbita das estrelas, em unidade astronômica (UA); P é o período orbital das estrelas, em anos terrestres.

Assim, conhecendo o tempo que uma estrela leva para completar sua órbita em torno de seu par e, sabendo a separação média entre as estrelas, pode-se aplicar a equação (15) para calcular a soma das massas de um par de estrelas que se orbitam.

Medidas de massas estelares segundo o método aqui descrito apontam que a massa das estrelas cresce de baixo para cima ao longo da sequência principal. O que significa dizer que existe uma relação entre a luminosidade de uma estrela e sua massa, de forma que, quanto mais massiva for a estrela da sequência

principal, mais luminosa ela é. O diagrama representado na Figura 4 ilustra esta relação, cujo eixo das ordenadas representa a luminosidade (L) em termos de luminosidade solar (L_{Sol}), enquanto o eixo das abscissas representa as massas estelares (M) em termos de massas solares (M_{Sol}).

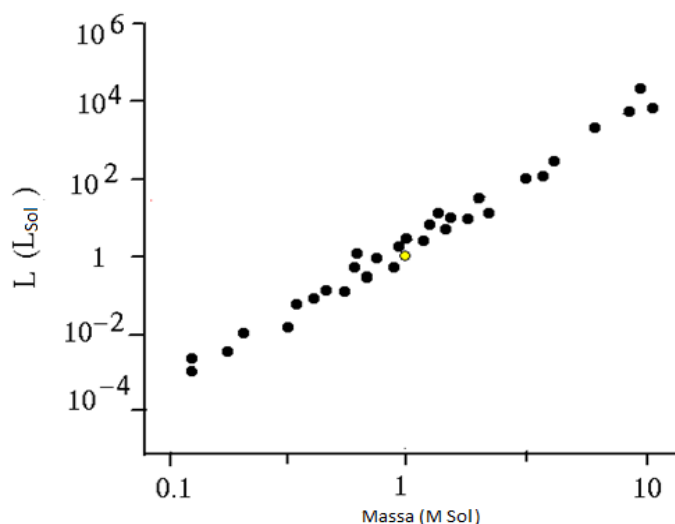


Figura 4: Diagrama ilustrativo da relação massa estelar e luminosidade, ambas em relação ao Sol.

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/promotion/proper.htm>, Acesso em 10 de setembro de 2017.

Segundo Oliveira Filho & Saraiva (2014), para estrelas com massas grandes, maiores do que 3 massas solares, a luminosidade é proporcional ao cubo da massa; já para massas pequenas, menores que 0.5 massa solar, a luminosidade é proporcional à potência 2.5 da massa.

Para estrelas com:

$$M \leq 0,5 M_{\odot} \rightarrow L \propto M^{2,5} \quad (16)$$

$$3 M_{\odot} \geq M \geq 0,5 M_{\odot} \rightarrow L \propto M^4 \quad (17)$$

$$M \geq 3 M_{\odot} \rightarrow L \propto M^3 \quad (18)$$

Assim, estimar massas estelares de estrelas localizadas na sequência principal do diagrama H-R, a partir da luminosidade, é uma atividade que também pode ser feita com os alunos explorando conceitos físicos e matemáticos através das grandezas envolvidas.

Como sugestão de atividades também se pode gerar gráficos que tomem por parâmetros a altura e o peso dos alunos, por exemplo. Ou também relacionar

idade e série dos alunos das diferentes turmas para observar a distribuição obtida. Os gráficos resultantes também seriam parecidos com diagramas H-R, havendo populações segregadas nas diferentes coordenadas (altura versus peso, por exemplo)

6.7 - Conceitos e Quantidades de Física Moderna e Contemporânea e Matemática discutidos em Sala de Aula a partir do Diagrama H-R

Como já explorado, podemos simplificar afirmando que o diagrama H-R (Figura 6) corresponde a uma visualização gráfica de propriedades fundamentais das estrelas. Neste gráfico, que é um marco da Astrofísica e a base no estudo e no teste da teoria de evolução estelar, o brilho intrínseco das estrelas (luminosidade) e a temperatura superficial são comparados. Em outras palavras, podemos dizer que o diagrama H-R separa efeitos físicos relacionados à temperatura e à luminosidade de forma a explicar como as estrelas de diferentes massas evoluem. O diagrama H-R caracteriza-se, assim, como uma poderosa ferramenta para explorar conceitos de Física Moderna e Contemporânea em sala de aula, sobretudo na educação básica. Embora haja inúmeras razões (ver, por exemplo, Ostermann, Ferreira e Cavalcanti 1998) para que tópicos de Física Moderna e Contemporânea sejam introduzidos em salas de aula na educação básica, pouco ainda é feito nesse sentido; desta forma, entre outros paradigmas, um dos grandes desafios da educação básica da atualidade é introduzir conceitos de FMC em sala de aula (ver Slovinski e Alves-Brito 2017 para uma aplicação recente).

Nesse sentido, a presente proposta surge com a finalidade de contribuir para aumentar o número de trabalhos devotados a articular conceitos importantes de Física Moderna e Contemporânea em sala de aula aproveitando o potencial de Astronomia como ciência que motiva e inspira crianças, jovens e adultos (ver Langui e Nardi 2014). Segue abaixo a lista de principais conceitos/quantidades de FMC bem como de Matemática que foram usados na construção do diagrama H-R em sala de aula na presente proposta de Mestrado Profissional.

6.7.1 - Conceitos/Quantidades de Física

6.7.1.1 - Radiação Eletromagnética

Fisicamente, a radiação eletromagnética, que é detalhada ao longo do texto da dissertação, está relacionado ao movimento de cargas elétricas (campo elétrico) e magnéticas (campo magnético) que viajam no espaço e transferem energia de um lugar a outro deste espaço. Sempre que campo elétrico e magnético se moverem perpendicularmente um ao outro haverá produção de onda eletromagnética. As ondas eletromagnéticas são essenciais para estudar a evolução das estrelas. É a partir da radiação eletromagnética produzida no centro das estrelas que a informação (luz) poderá ser captada na Terra. Astrônomos desvendam a informação espectroscópica a partir da análise de linhas espectrais; estas linhas são formadas na atmosfera das estrelas, camadas mais finas da estrutura estelar. A radiação eletromagnética vem em diferentes comprimentos de onda e/ou frequências que, individualmente, vão oferecer diferentes informações físicas do objeto analisado. A radiação eletromagnética, por ser uma *quantidade* da Física Moderna e Contemporânea, comporta-se como onda e como partícula (fótons). A dualidade onda-partícula é uma característica específica de objetos tratados no contexto da FMC.

6.7.1.2 - Radiação de Corpo Negro

Radiação de corpo negro a radiação emitida por um radiador perfeito (hipotético). O espectro é contínuo e o comprimento de onda máximo da radiação depende da temperatura do corpo.

6.7.1.3- Espectro Eletromagnético

O espectro eletromagnético está fisicamente associado a um intervalo da radiação eletromagnética separado em diferentes comprimentos de onda que, numa onda eletromagnética, corresponde à distância entre sucessivos picos ou vales da mesma. Cada comprimento de onda pode estar associado a uma cor. Em termos práticos e simples trata-se do mesmo princípio de formação de um arco-íris, onde cada cor do fenômeno representa um comprimento de onda da radiação eletromagnética, que é espalhada por partículas na atmosfera. Então, a luz oriunda das estrelas, quando dispersa por um espectroscópio acaba por gerar o seu espectro eletromagnético. Os espectroscópios funcionam como as partículas de água da atmosfera ao decompor a luz em diferentes comprimentos de onda,

gerando as cores do arco-íris. A análise destes espectros eletromagnéticos acaba por ajudar a desvendar as características químicas das estrelas, que são únicas. Como os espectros são gerados na atmosfera das estrelas, as linhas espectrais formadas estão associadas às propriedades físicas das atmosferas das estrelas. Diferentes estrelas do diagrama H-R terão diferentes espectros eletromagnéticos (e composição química), como mostram as figuras 3,4 e 5.

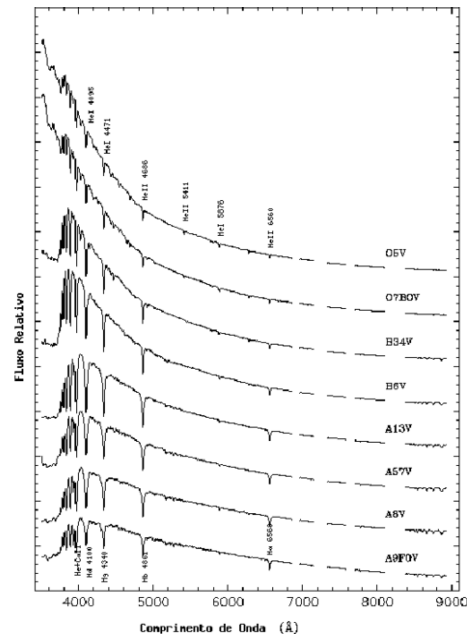


Figura 5: Exemplo de espectro eletromagnético (fluxo versus comprimento de onda) para estrelas de diferentes tipos e classes de luminosidade. Figura retirada de [HTTP://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.html](http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.html), em janeiro de 2018.

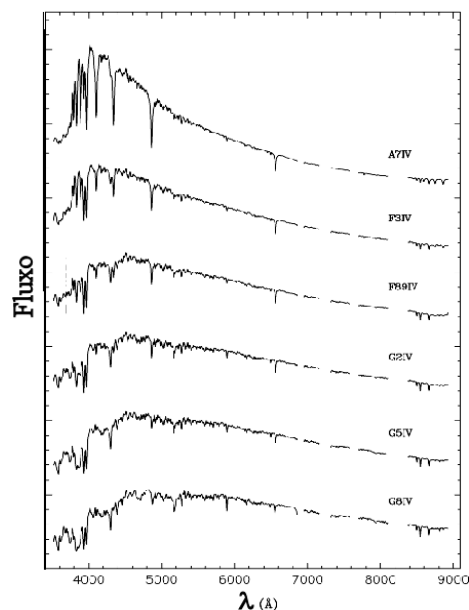


Figura 6: Exemplo de espectro eletromagnético (fluxo versus comprimento de onda) para estrelas de diferentes tipos e classes de luminosidade. Figura retirada de <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>, em janeiro de 2018.

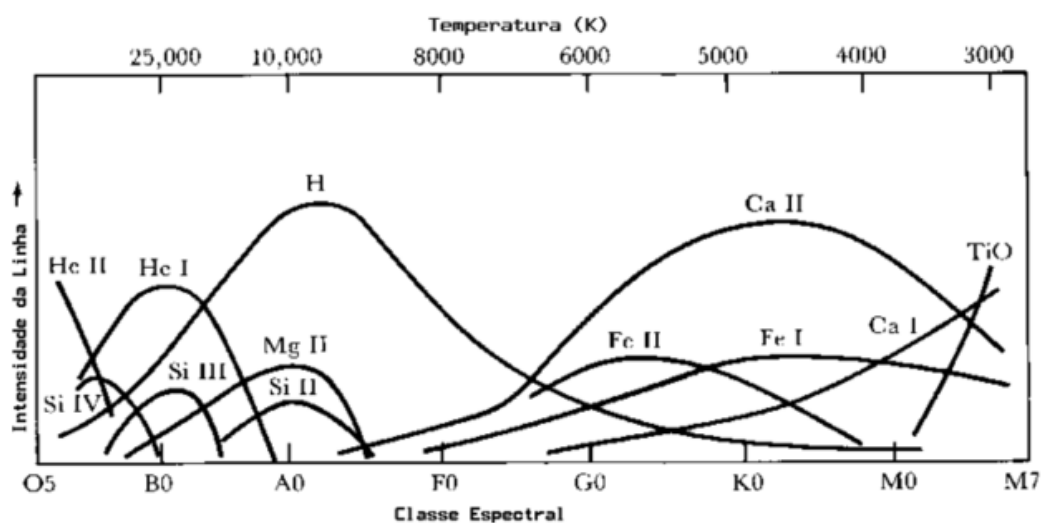


Figura 7: Exemplo de diferentes linhas atômicas e moleculares presentes em estrelas de diferentes temperaturas e classe espectral. Figura retirada de <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>, em janeiro de 2018.

6.7.1.4 - Magnitude Visual

A magnitude visual da estrela está associada a uma escala de brilho ou escala de magnitude que quantifica em termos de luz (radiação eletromagnética) quais objetos podemos observar da Terra a olho nu, num lugar idealmente sem poluição luminosa. Estes objetos, no caso do presente trabalho, são estrelas. Historicamente (ver Muller, Saraiva e Oliveira Filho 2013), convencionou-se nesta escala de magnitude que os objetos mais fracos apresentam maior magnitude. Por exemplo, um objeto de magnitude visual $m = 6$ é mais fraco que aquele de magnitude $m = 1$. Como a magnitude visual está associada à quantidade de luz (onda eletromagnética) que medimos na Terra, ou seja, ao fluxo F de radiação que medimos oriundo da estrela, a magnitude nesse trabalho também foi discutida como um conceito da Física Moderna e Contemporânea, embora seja ela definida ainda no que se denomina Física Clássica, na Grécia, por Hipparcos (ver Muller, Saraiva e Oliveira Filho 2013). Acontece que com o desenvolvimento da Física Moderna, chegou-se a conclusão de que a resposta do olho humano à exposição da luz dar-se numa função logarítmica, no sentido que magnitude visual é, por definição, $m = -2.5 \cdot \log(F)$, onde F = luminosidade por unidade de área ($F = L/A$) e o sinal negativo da relação foi mantido para garantir, historicamente, que um objeto de magnitude 1 seja mais brilhante que um objeto de magnitude 6.

6.7.1.5 - Magnitude Absoluta

Para poder facilitar a comparação, a magnitude absoluta de uma estrela, conforme já definido em seções anteriores, está associada à luminosidade (medida de brilho ou magnitude visual aparente) que a estrela teria se estivesse a 10 pc do observador.

6.7.1.6 – Cor

Em astrofísica, a cor de um certo objeto está relacionado à diferença de magnitude em duas bandas diferentes da radiação eletromagnética, ou seja, em dois comprimentos de onda diferentes. Por exemplo, se uma estrela tem uma magnitude visual medida na banda B (m_B) e na banda V (m_V), a cor B-V = $m_B - m_V$. A cor de uma estrela está associada à temperatura na atmosfera da mesma. Quanto mais azul (em escala de comprimento de onda do espectro eletromagnético) for a “cor” da estrela, mais quente será a temperatura superficial da mesma. Para referência, a temperatura da superfície do Sol é 5.780 K (cerca de 6.000 graus Celsius).

As estrelas podem ter temperaturas superficiais tão baixas quanto 2.000 K ou tão altas quanto 30.000 K. Como cor e temperatura estão relacionadas e, além disso, a cor está associada de certa forma à dispersão da luz, a cor das estrelas foi tratada em nosso trabalho como uma quantidade da FMC. Já na primeira aula, quando os cartões com diferentes imagens coloridas de diferentes objetos astronômicos foram distribuídos entre os estudantes, foi chamada a atenção para a questão do conceito de cor (ver descrição das aulas).

Em geral, os estudantes da educação básica têm a noção, das aulas de educação artística e/ou artes que as cores frias são azuis enquanto as quentes são vermelhas e, por isso mesmo, confundem quando a idéia de cor é tratada no arcabouço da Astrofísica.

6.7.1.7 – Luminosidade

É um dos conceitos mais importantes no processo de evolução das estrelas e da construção do Diagrama H-R. A luminosidade está associada à quantidade total de energia que irradia por segundo da estrela em todos os comprimentos de onda, ou seja, ao conceito físico de potência. Para as estrelas da sequência principal há

uma relação direta entre massa e luminosidade. Importante dizer que esta relação é apenas válida na sequência principal.

6.7.1.8 – Temperatura

Fisicamente, e dentro do conceito de Física Moderna e Contemporânea, a temperatura está associada ao grau de agitação de átomos e moléculas que formam um certo corpo. Os átomos, que são feitos de prótons, nêutrons e elétrons, são os tijolos da matéria. Exceto hidrogênio, hélio e um pouco de lítio, todos os elementos (átomos) da tabela periódica são formados no núcleo estrelas. Conseqüentemente, a temperatura no centro das estrelas é diferente da temperatura em suas superfícies. A temperatura mais baixa necessária para dar início às reações nucleares no centro (conversão de hidrogênio em hélio) é da ordem de 15 milhões de graus Celsius. O próprio Sol está queimando (ou seja, convertendo) no seu centro, hidrogênio em hélio há 4.5 bilhões de anos. Este processo de fusão nuclear que libera energia, ou seja, a mesma energia que chega até nós pela atmosfera das estrelas, se dá pela transformação de um elemento mais leve em elemento mais pesado. É a temperatura que controla estas transformações e, por isso mesmo, a temperatura é um dos parâmetros apresentados no diagrama H-R. Ela é crucial para o processo de evolução das estrelas no diagrama H-R.

6.7.1.9 - Classe Espectral

Com base na aparência de diferentes espectros (ver Figuras 3 e 4), também foi discutido na nossa proposta, como uma quantidade importante como a classe espectral pode ser útil para caracterizar a temperatura, uma quantidade crucial de Física Moderna e Contemporânea. A classe espectral está relacionada a um sistema de letras (O, B, A, F, G, K, M) diretamente relacionado à temperatura das estrelas (ver eixo superior e inferior das abcissas na Figura 6, onde a temperatura superficial diminui nas estrelas de tipo espectral O a M, na seqüência).

6.7.1.10 - Massa

A massa é uma medida da quantidade de matéria que compõe o objeto. No nosso trabalho, o conceito de massa estelar é fundamental porque é dela, em primeira aproximação, que depende a maneira como as estrelas nascem, evoluem e morrem.

As estrelas têm massa, dentro das barras de erro, entre 0.08 e 150 massas do Sol (1 massa do Sol $\sim 2 \times 10^{30}$ kg). Dependendo da massa da estrela diferentes elementos químicos poderão ser formados porque, exatamente, a densidade e a temperatura do núcleo estelar vão garantir as condições físicas necessárias para que a fusão nuclear aconteça. Estrelas até 8 vezes a massa do Sol vão produzir, no centro, no máximo elementos como C, N e O; já as estrelas acima de 8 vezes a massa do Sol vão conseguir produzir, no centro, por fusão nuclear, elementos ainda mais pesados, sendo o ferro o elemento mais pesado permitido. Dessa forma, como explorando ao longo do texto da dissertação, a fusão nuclear acontece a partir da conversão de um elemento químico (átomo) leve em um elemento químico mais pesado, liberando energia. Essa conversão massa-energia (m-E) é realizada através da famosa equação de Einstein (Física Moderna e Contemporânea) que diz que $E = m \cdot c^2$, onde c é a velocidade da luz no vácuo.

Para resumir, vale dizer que a luminosidade (L), a temperatura (T) e o raio (R) das estrelas estão diretamente relacionados. É a variação de L e T, que acontece por conta dos processos de fusão nuclear, que garante a evolução das estrelas no diagrama H-R. Para auxiliar na construção do diagrama H-R o leitor poderá encontrar informações úteis aqui⁵ para uma lista de mais de 350 estrelas brilhantes.

6.7.1.11 - Conceitos de Matemática

A construção do diagrama H-R também se constitui numa interessante ferramenta para a discussão de conceitos fundamentais de Matemática como, por exemplo, aplicação das quatro operações fundamentais; definição de variáveis; análise de funções; processo de geração e interpretação de gráficos; manipulação de equações e frações; cálculo de potenciação e de regra de três; familiarização e manipulação de variáveis em diferentes escalas.

⁵ <http://www.astro.utoronto.ca/~garrison/oh.html>

7 – DESENVOLVIMENTO DAS AULAS – CONSTRUINDO O DIAGRAMA H-R

O conjunto de atividades elaboradas visando a construção coletiva pelos alunos de um diagrama H-R foi inicialmente pensado para seis encontros de 100 minutos cada. O planejamento feito levou em consideração que na aula 1 era necessário ter ideia dos conhecimentos que os alunos já traziam consigo com respeito à capacidade de identificação dos diferentes tipos de objetos astronômicos existentes, bem como de seus conhecimentos em relação à astrofísica estelar. Para tanto, a aula foi elaborada com base em imagens de objetos astronômicos e em um conjunto de questões teóricas.

A aula 2 teve por objetivo apresentar o *software Stellarium* aos alunos para que estes o usassem realizando atividades de reconhecimento do programa, a fim de identificar as ferramentas por ele oferecidas e de adquirir familiaridade na localização de objetos astronômicos, na busca de dados e parâmetros astrofísicos.

As aulas 3 e 4 tiveram por objetivo trabalhar a teoria da física estelar. Nestas aulas tratou-se do tema evolução estelar, procurando explorar tópicos de FMC por meio dos fenômenos físicos envolvidos nos modelos de explicação da física das estrelas. Estas duas aulas foram expositivas com recurso de apresentação com *Power Point*. Devido à licença médica da professora com horário posterior às aulas de aplicação deste trabalho, as aulas 3 e 4 tiveram 150 minutos (três períodos consecutivos) cada, o que foi muito importante para fazer uma melhor abordagem dos assuntos discutidos.

As aulas 5 e 6 foram para coleta de parâmetros astrofísicos estelares a partir do *stellarium* e, construção coletiva do diagrama H-R, respectivamente. Para a aula 5 os alunos receberam uma lista de estrelas para as quais se pedia os parâmetros astrofísicos, que, na aula 6, seriam usados para a construção coletiva do diagrama H-R. Para a aula 6 foi solicitada a cedência pelo professor do período subsequente, pois a atividade necessitava de um tempo maior do que os dois períodos do dia.

As próximas subseções destinam-se a explicar como foram realizadas as seis aulas usadas para a realização deste trabalho.

7.1 - Aula 1 – Reconhecendo Imagens de Objetos Astronômicos

A primeira aula teve como finalidade que os alunos classificassem diferentes objetos astronômicos a partir de imagens obtidas pelo Telescópio Espacial Hubble. Para tanto se fez uso de 50 imagens impressas em cartelas, coletadas a partir do site <http://hubblesite.org>. As cartelas foram distribuídas aos alunos que se organizaram em grupos de até seis pessoas. Alguns optaram por trabalhar em dupla. Junto às cartelas os alunos receberam uma lista de perguntas para responder de acordo com as imagens observadas. Estas perguntas objetivaram identificar o nível de conhecimento dos alunos em relação ao tema proposto. Ver Anexos I e II para imagens e perguntas, respectivamente.

As perguntas referentes à identificação de imagens estavam de acordo com as imagens das cartelas, que contemplavam estrelas, galáxias, cometas, planetas, nebulosas, aglomerados estelares e luas. Cada imagem impressa estava numerada no verso, e, a partir do número, os alunos identificaram cada uma delas de acordo com os tipos de objetos astronômicos acima citados. Além da classificação por identificação de imagens, também foram feitas perguntas relacionadas à abundância de elementos químicos nas estrelas, seus mecanismos e processos para a geração de energia, cor como indicativo de temperatura, ciclo evolutivo, conhecimento e função do diagrama H-R, temperatura nuclear e superficial do Sol e estágios finais das estrelas. Esta atividade teve por objetivo identificar o nível de conhecimento dos alunos a respeito da diferenciação morfológica de diferentes objetos astronômicos. Se, por exemplo, os estudantes sabiam diferenciar estrela, objeto principal de estudo neste projeto, de um planeta.

A aula foi realizada em 27/10/2016 e contou com 31 alunos. Cada grupo ganhou um conjunto de imagens, e à medida que as classificavam, trocavam com o grupo seguinte, de forma que todos pudessem ter acesso a todas as cartelas. Foram consideradas como respostas corretas aquelas que associaram o número da figura com o nome correspondente do objeto astronômico vinculado ao número da cartela. Para o grupo de 31 alunos a análise das respostas permitiu a seguinte tabulação, por ordem decrescente de acertos:

Tabela 3: Respostas corretas para figuras representativas dos objetos astrofísicos apresentados. *Sem necessidade de relacionar todas as imagens, desde que as indicadas como resposta estivessem corretas.

Objeto da figura	Número de imagens por objeto astronômico	Número de alunos com resposta correta*	Respostas corretas (%)
Planetas	05	31	100
Nebulosas	14	28	90,3
Galáxias	12	24	77,4
Aglomerados estelares	05	19	61,3
Luas	03	18	58,1
Cometas	01	14	45,2
Estrelas	10	12	38,7

Fonte: Material didático criado para as aulas e respostas dos alunos aos testes elaborados

Pela análise dos dados, foi possível verificar que quanto à identificação de Planetas, os alunos se saíram muito bem, tendo todos eles identificado as figuras que remetiam ao objeto Planeta. Uma consideração a ser feita é que duas imagens eram de Saturno, e seus anéis parecem ter facilitado a identificação. Outra figura era de Plutão, onde havia a inscrição: Pluto acompanhado de suas Luas, também nomeadas na figura, o que pode também ter facilitado a identificação. Dos 31 alunos, 9 também associaram a figura de Marte à Lua.

Figuras de Nebulosas e Galáxias vêm em seguida com o maior número de acertos associativos, 28 e 24, respectivamente. De fato, das 50 imagens selecionadas, estas eram as em maior número, sendo que 14 eram de Nebulosas e 12 de Galáxias. O critério de correção, que levou em conta não ser necessário o reconhecimento de todas as figuras relacionadas para cada identificação, parece ter ajudado no alto índice de acertos para essas duas categorias de objetos astronômicos.

Cinco cartelas continham imagens de Aglomerados Estelares. Um aluno identificou corretamente as cinco cartelas. Outros 7 identificaram três imagens corretamente. Cinco alunos identificaram duas e seis alunos identificaram apenas uma como correta. O restante da turma, 12 alunos, não identificou nenhuma de forma correta.

As imagens de luas estavam vinculadas às luas de Júpiter, Saturno e Plutão. Dezoito alunos responderam corretamente. A cartela 24 representava o Planeta Júpiter com suas Luas, o que colocava a figura como representa planeta e luas. No entanto, 13 dos 18 alunos que identificaram a figura 24 como lua, não o fizeram como planeta, o que leva a constatação de que identificaram o Planeta Júpiter como sendo lua. Sete alunos identificaram Marte como sendo a Lua, e dois deram para figura de Marte, status de planeta e de lua ao mesmo tempo.

Uma única figura representava um cometa, o cometa Ison. Quatorze identificou corretamente. E na categoria Estrelas, com 10 imagens relacionadas, 12 alunos classificaram corretamente ao menos uma das cartelas. Fotos dos alunos utilizando as cartelas são mostradas a seguir.



Figura 8: Fotografia de alunos trocando imagens.



Figura 9: Fotografia de alunos classificando imagens.



Figura 10: Fotografia de alunos classificando imagens. Cartela de cima com o Cometa Ison em destaque.



Figura 11: Fotografia de aluna respondendo às questões propostas junto com a classificação de imagens.



Figura 12: Fotografia de alunas classificando imagens.

7.2 - Aula 2 – Apresentando e Explorando o *Stellarium*

A segunda aula teve por objetivo apresentar e familiarizar os alunos com o programa *Stellarium*. A ideia inicial era a de que os alunos compartilhassem computadores no Laboratório de Informática. No entanto, foi possível que cada aluno dispusesse de um *netbook*⁶ com o programa instalado. Estiveram presentes 25 alunos e a aula ocorreu no dia 03/11/2016. No início da aula solicitei que cada um ligasse seu *netbook* e procurasse pelo programa *Stellarium*. Usei também um *netbook* conectado a um projetor de imagens e iniciei mostrando a tela inicial e alguns possíveis usos das barras de ferramentas vertical e horizontal. Ensinei como localizar um astro e usei o Sol como primeiro exemplo. O horário era próximo ao meio dia. Pedi que passassem o cursor pela barra horizontal e localizassem o botão atmosfera e que clicassem sobre ele. Então expliquei como seria nossa visão do céu se não tivéssemos a presença da atmosfera. Exploramos também a altura que o Sol passaria pelo meridiano de Porto Alegre naquele dia e, para tanto, usamos a linha de meridiano a partir do botão “marcadores”. Exploramos juntos também os eventos de nascer e ocaso do Sol nos inícios das estações do ano. Em seguida localizamos a estrela Antares. Então solicitei que selecionassem, na barra horizontal, o botão “linhas de constelações” e que clicassem nela. Visualizaram a constelação de Escorpião. Passei mais algumas orientações e indiquei algumas estrelas para serem pesquisadas, assim como planetas. Nesta etapa, solicitei que os alunos tomassem nota, para cada objeto astronômico pesquisado, dos seguintes parâmetros: magnitude, magnitude absoluta, classe espectral e distância. Esta atividade objetivou proporcionar familiaridade aos alunos na procura de parâmetros que seriam usados na aula 5, quando fariam essa busca para as estrelas selecionadas na construção do diagrama H-R. Embora o parâmetro “distância” não seja usado para construção do diagrama H-R, solicitei este dado tendo em vista considerar importante que os alunos tivessem uma noção do que são distâncias astronômicas e de que a percepção que podemos ter de estrelas a uma mesma distância, é ilusória. A atividade foi muito bem aceita e desenvolvida pelos alunos, que trocaram informações constantemente e se ajudaram mutuamente.

⁶Netbook é uma versão menor, mais leve, mais barata, mais compacta e otimizada de computadores portáteis (notebooks).

À medida que foram acabando a atividade, deixei que procurassem livremente os objetos astronômicos e circulei pela sala auxiliando sempre que solicitado e dando algumas dicas. Pude observar a felicidade dos alunos ao experimentarem algo não usual em suas aulas. Muitos referiram que aulas daquela forma eram mais atrativas e que deveriam ocorrer com maior frequência na escola. Pude verificar facilmente que tiveram muita facilidade em explorar o programa. Embora cada um tivesse um *netbook*, trabalharam muito com troca de informações, pois auxiliavam uns aos outros sobre o uso das ferramentas do programa e de objetos astronômicos que exploravam e que queriam compartilhar com os colegas.

Ao final da aula ensinei como localizar o Polo Celeste Sul e o Ponto Cardeal Sul a partir da constelação do Cruzeiro do Sul, bem como, aproximadamente, o Ponto Cardeal Oeste, a partir da Constelação de Orion.

O objetivo de apresentar e familiarizar o aluno com o *Stellarium* foi alcançado. Alguns alunos manifestaram-se dizendo que iriam fazer *download* do programa nos seus computadores em casa.

7.3 Aulas 3 e 4 – Falando Sobre Evolução Estelar e Apresentando o Diagrama

H-R

As aulas 3 e 4 tiveram por objetivo apresentar o processo de formação e evolução das estrelas, apresentar o diagrama H-R e mostrar como as estrelas se distribuem nele. Para tanto, a aula foi expositiva com o recurso do projetor de imagens. Estes dois encontros ocorreram nos dias 17/11 e 23/11/2016, com a presença de 22 e 21 alunos respectivamente.

Primeiramente foi definido o que são estrelas e sob quais condições estas se formam. Abordou-se desde a temperatura da nuvem molecular que formará uma estrela, passando pela abundância dos elementos químicos ali presentes, e pela atração gravitacional para a formação dos coágulos, salientando fatores internos e externos importantes na formação das estrelas, até a condição de pressão e temperatura para início das reações de fusão nuclear, condição necessária para que a estrela seja tecnicamente formada.

Então falei no processo evolutivo a partir da estrela gerada dizendo que toda estrela começa sua “vida” fundindo hidrogênio (H) em hélio (He). Foi salientado que este processo pode durar entre milhões, bilhões ou até trilhões de anos, dependendo da massa e composição química inicial. Foi dito que neste período inicial da vida da estrela, durante a queima de H em He, todas as estrelas se encontram em uma faixa denominada “sequência principal” do diagrama H-R, que seria explicado posteriormente, embora tivesse sido visualmente apresentado na aula.

As propriedades de cor e brilho foram abordadas neste momento, destacando que a cor de uma estrela está relacionada à sua temperatura, enquanto o brilho relaciona-se com a quantidade de luz irradiada por segundo, por toda a superfície da estrela. Imagens de estrelas foram usadas para exemplificar.

Por ser nossa estrela principal, o Sol foi usado como um primeiro exemplo. Dados como suas temperaturas nuclear e superficial foram destacados, assim como sua idade e estimativa evolutiva, bem como dados comparativos com a Terra em relação a volume e distância entre ambos e também a distância de oito minutos-luz do Sol à Terra, que seria brevemente explorado com o conceito de ano-luz. Aproveitei este momento para falar em classe espectral e fiz a primeira apresentação do diagrama H-R, mostrando onde o Sol está localizado no diagrama. Os dados apresentados para o Sol causaram bastante curiosidade aos alunos. O fato, por exemplo, de o volume do Sol ser de aproximadamente $1,4 \times 10^6$ vezes maior que o volume da Terra, foi algo que os alunos mostraram não ter a mais vaga ideia. Comparamos a distância de Alfa do Centauro, ressaltando que, depois do Sol, era a estrela mais próxima de nós e fizemos o cálculo de sua distância até a Terra traçando comparativo da sua distância até nós e da nossa distância ao Sol. Surgiram então perguntas como: “quanto tempo levaríamos para chegar até lá dentro de uma nave?”, ou “esta estrela também tem planetas assim como o nosso Sol?”. Dedicamos parte da aula para falar sobre estas e outras curiosidades que os alunos apresentaram.

Voltei a um ponto que já havia mencionado para retomar a questão da evolução estelar, agora de forma mais aprofundada. Falei novamente que toda estrela começa por fundir H em He, mas agora acrescentando, que este tempo de fusão depende da massa da estrela. Quanto maior a massa, mais rápido é este

processo e que a transmutação de elementos químicos no interior de estrelas vai até o elemento ferro (Fe), no caso das estrelas massivas (acima de 8 vezes a massa do Sol), até onde o processo é exotérmico (processo em que há liberação de energia). A partir do elemento Fe, ao invés de liberar, a estrela absorve energia (processo endotérmico), aí a estrela para de fundir elementos. Provoquei a pergunta: “mas então, de onde saem os outros elementos da tabela periódica?”. Não houve manifestação dos alunos no sentido de encontrar uma resposta à pergunta. Respondi que os outros elementos surgem a partir de processos de recombinações em explosões de Supernovas do Tipo II (estrelas originárias com massas acima de oito vezes a massa do Sol), entre outros processos, mas que naquele momento, o tema não seria explorado. Seguimos, associando a cor das estrelas com sua temperatura e massa e introduzi o conceito de classe espectral, identificando as estrelas azuis como mais quentes, vermelhas mais frias, e usamos o Sol com temperatura superficial próxima de 6000 K como exemplo, verificando novamente no diagrama H-R onde ele se localiza e a qual cor está associado. Um *slide* com a representação de um espectro eletromagnético foi usado neste momento para buscar estabelecer a relação da cor com a frequência e comprimento de onda. A ideia inicial da maioria dos alunos era de que estrelas vermelhas eram mais quentes que as azuis. Aproveitei para falar no conceito de radiação de corpo negro, tomando como exemplo o aquecimento de uma barra de ferro por um maçarico, explicando que a mudança de cor durante o aquecimento ia do vermelho (menos quente) ao azul (mais quente). Então exploramos as classes espectrais OBAFGKM. Voltamos ao diagrama com a identificação das classes espectrais e mostramos que tipo de cor de estrela estava em cada região, já associando com a temperatura. Procurei ressaltar que as estrelas tipo O eram as mais quentes, as tipo M mais frias, e que o nosso Sol era uma estrela tipo G (GII). Em seguida interpretamos uma tabela que apresentava com a classe espectral, comparativos de temperatura, massa, raio e luminosidade comparativamente ao Sol. Alguns alunos ficaram impressionados que existam estrelas com luminosidade um milhão de vezes maior que o Sol. Algumas imagens de estrelas nas diferentes cores foram mostradas (aglomerado de estrelas azuis, Plêiades, Constelação de Orion e Betelguese, Antares, Aldebaran e o Sol). Neste ponto, para aguçar mais a curiosidade dos alunos, utilizei um *slide* comparando nosso Sol com Sirius, Polux, Arcturus, Rigel, Aldebaran, Betelguese e

Antares. A ideia foi destacar que, quando comparado a outras estrelas, o Sol pode não ser tão grande quanto talvez imaginamos.

A aula seguiu com o processo de evolução estelar, e neste momento utilizei um quadro resumido que mostra, para cada massa inicial de estrela, qual o seu caminho evolutivo até a morte da estrela. Os alunos mostraram curiosidades especialmente quando se falou em explosão de supernova, estrela de nêutrons e buracos negros.

Por fim, abordamos especificamente o diagrama H-R e o processo de construção de um deles. Reforcei que este diagrama estabelece uma relação entre a luminosidade e a temperatura superficial das estrelas. Mostrei três figuras diferentes de diagramas, com variações de parâmetros e estudamos como faríamos para construir o nosso diagrama nas duas aulas seguintes. Começamos pela identificação dos eixos do diagrama, depois a distribuição das estrelas da sequência principal, passando pelos ramos das gigantes, supergigantes e anãs. Não houve maiores dificuldades para que os alunos entendessem como se constrói um diagrama H-R.

7.4 - Aula 5 – Coletando Parâmetros Astrofísicos Estelares Através do *Stellarium*

A aula 5 teve por objetivo coletar dados dos parâmetros astrofísicos estelares através do *Stellarium* para construção do diagrama H-R na aula 6. A aula, que ocorreu no dia 24/11/2016, contou com 23 alunos e a presença da minha professora orientadora, Daniela Borges Pavani. Previamente selecionei um conjunto de 113 estrelas, procurando contemplar todos os setores do diagrama H-R. A maioria das estrelas foi identificada conforme o Catálogo *Hipparcos*, utilizado no *Stellarium* para identificação de estrelas (por exemplo, HIP 78820), no entanto muitas estrelas que havíamos falado em aula, foram identificadas pelo nome, como Antares, Betelguese, Alnilan, Aldebaran, entre outras.

Inicialmente, o planejamento era dividir a turma em grupos que ficariam responsáveis cada um por um conjunto de estrelas. Mas como cada aluno tinha um *netbook* próprio, todos eles ganharam a lista completa de estrelas. A sala foi de

certa forma setorizada, e solicitei que cada setor encontrasse os parâmetros pedidos para um grupo de estrelas.

Optei, ao selecionar as estrelas, em fazê-lo por nomes de constelações. Assim, um dos grupos pertencia à constelação de Escorpião, outro à constelação de Orion, outro à constelação de Touro, e assim por diante, abrangendo estrelas de onze constelações diferentes. No Anexo III deste trabalho pode-se verificar o conjunto de constelações e estrelas selecionadas.

A orientação na lista que os alunos receberam era para localizar e anotar a magnitude, magnitude absoluta, tipo espectral e distância para cada estrela indicada. Alguns alunos solicitaram fazer a coleta de dados na constelação que estava de acordo com seus signos, o que foi atendido. Dos parâmetros coletados, apenas a magnitude absoluta e a classe espectral seriam usados para construção do diagrama H-R, mas optei por pedir os outros dois (magnitude e distância) em função de curiosidades e debates que tivemos em aula.

Os alunos trabalharam muito bem. Houve bastante auxílio entre eles, dado que alguns adquiriram familiaridade mais rapidamente com o programa. Muitos alunos optaram por não ficar somente na coleta da constelação a que deveriam fazer e sim coletar o número máximo de dados que podiam.

Ao final da aula, para todas as estrelas relacionadas, tínhamos os parâmetros suficientes para construir o diagrama H-R.

Fotos dos alunos tomando nota dos parâmetros pedidos, a partir do *Stellarium*, são mostradas a seguir.



Figura 13: Fotografia de alunos coletando dados de objetos astrofísicos a partir do *Stellarium*



Figura 14: Fotografia de alunos trabalhando e dois em momento de descontração



Figura 15: Imagem de alunos coletando dados e, em destaque, a “janela de procura” do programa *Stellarium*



Figura 16: Imagem de alunos trabalhando em colaboração.

7.5 - Aula 6 – Construção Coletiva do Diagrama H-R

A aula 6 foi a de fechamento da aplicação do projeto e ocorreu em 01/12/2016. Assim como nas aulas 3 e 4, nesta também utilizei três períodos

seguidos (150 minutos) para realização da atividade. O objetivo era construir o diagrama H-R para aquele conjunto de estrelas (ver Anexo III) das quais coletamos os dados (luminosidade e classe espectral) na aula 5. Vinte alunos estavam presentes. Usamos papel tipo cartolina, no tamanho 50cm x 70cm. Dois alunos quiseram traçar os eixos na cartolina e fizeram em duas delas, o que nos deu dois diagramas ao final da aula. Os alunos traçaram os eixos magnitude absoluta na vertical esquerda e classe espectral na horizontal inferior. No eixo das classes espectrais foi feita a subdivisão de 0 a 9 entre cada classe de OBAFGKM, e no eixo horizontal superior foi associada uma escala de temperaturas relativas a estas classes. No eixo vertical direito foi feita uma escala da Luminosidade relacionada à Magnitude Absoluta.

A turma foi dividida em dois grandes grupos e cada um fez o seu diagrama com os mesmos dados. A dinâmica foi a seguinte: os cartazes foram colados no quadro até onde duplas de alunos se dirigiam e marcavam a posição de duas ou três estrelas. Um aluno dizia que determinada estrela tinha tais e tais parâmetros. A dupla, com uso de duas régua de 80 cm usava uma na vertical e outra na horizontal para localizar e marcar o ponto onde a estrela se encontrava. Quando todos haviam feito, o ciclo se repetia, de modo que todos os alunos presentes em aula participaram na construção do diagrama. Não foi possível marcar todas as estrelas selecionadas, mas tomei o cuidado de orientar que escolhessem estrelas que contemplassem todas as regiões do diagrama, de forma a ter um resultado mais fidedigno de um diagrama H-R.

Entre as aulas 5 e 6, verifiquei que no conjunto de estrelas que havia selecionado, não tinham sido contempladas satisfatoriamente a região das Anãs Brancas. Como não havia tempo hábil para coletarmos mais dados, eu localizei uma lista de vinte estrelas com parâmetros de Anãs Brancas para poder contemplar todo o diagrama. Desta forma, os alunos tiveram a um total de 133 estrelas para marcar sobre o cartaz, contemplando todas as regiões do diagrama H-R.

Ao final da aula tivemos os dois diagramas construídos, sendo que um dos grupos conseguiu melhor qualidade na apresentação final. Usando os diagramas construídos, retomei com os alunos questões relacionadas à Física que havíamos falado nas aulas anteriores, procurando ressaltar aspectos relacionados à

FMC, fazendo o fechamento da aplicação do projeto. Fotos do processo de construção do diagrama H-R são apresentadas a seguir.



Figura 17: Imagem de aluna marcando a posição de uma estrela na região da Sequência Principal.

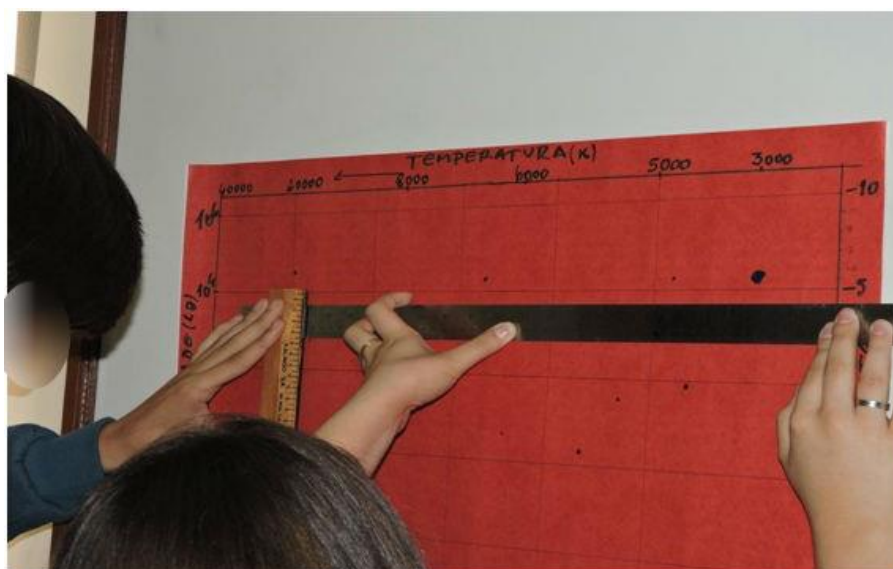


Figura 18: Imagem de alunos marcando ponto de uma estrela tipo B.



Figura 19: Alunos da figura anterior, agora marcando ponto de uma estrela tipo G.



Figura 20: Imagem de alunos marcando posição de uma estrela na região das Gigantes.

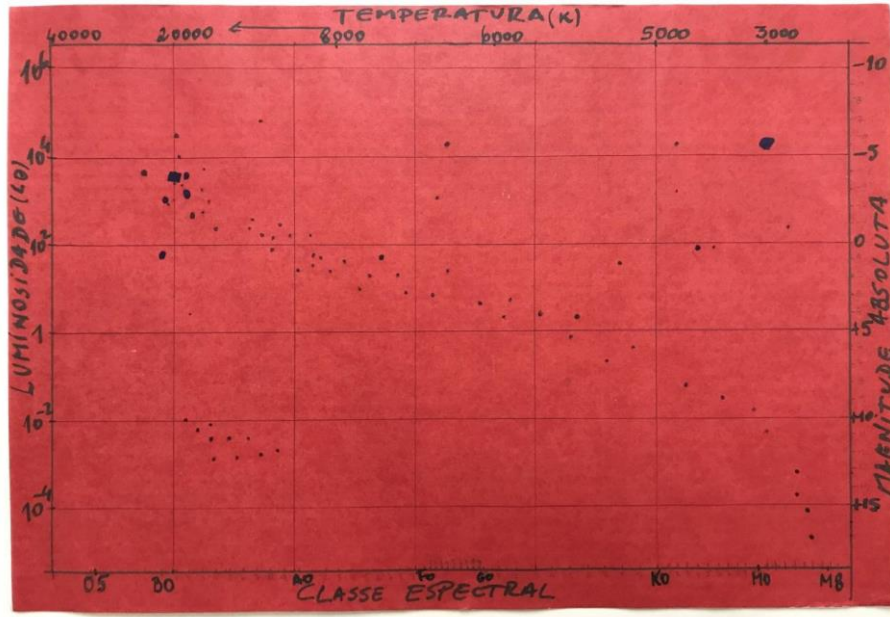


Figura 21: Imagem do diagrama H-R construído pelo grupo de alunos 1.

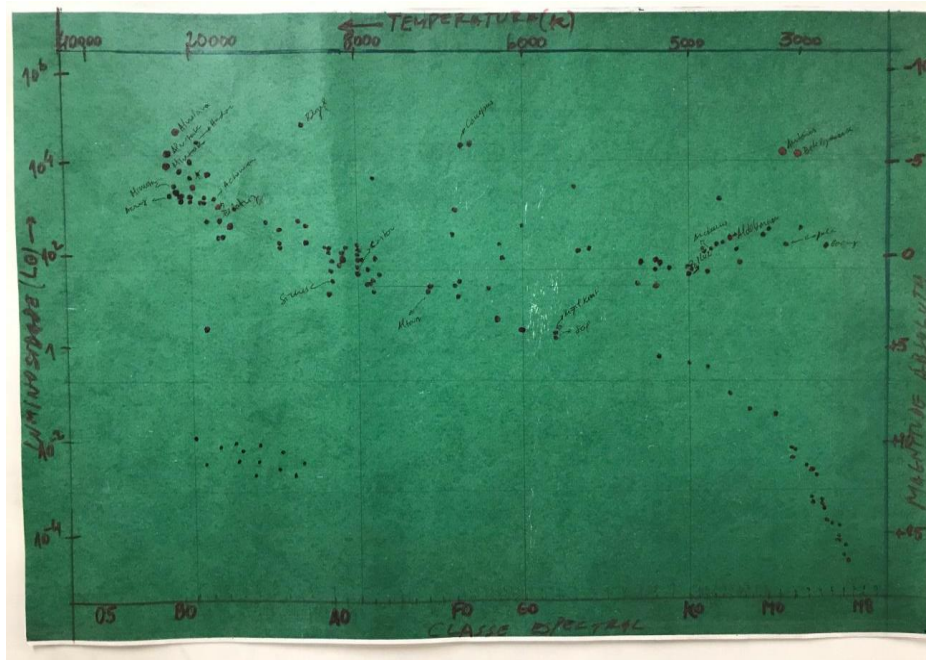


Figura 22: Imagem do diagrama H-R construído pelo grupo de alunos 2.



Figura 23: Imagem do professor e da turma com os dois diagramas H-R construídos.

8 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Antes de discutir os resultados deste trabalho, cabem algumas considerações a respeito de como estava sendo trabalhada a disciplina de Física com os alunos da turma 2C do Colégio Estadual Piratini, turma na qual desenvolveu-se este trabalho. Lembrando que, conforme explicado na seção 5, a grade curricular no Colégio Piratini prevê para o Segundo Ano do EM um programa que começa por termodinâmica no primeiro trimestre, ondas no segundo e óptica no terceiro (grandes áreas, sem as subdivisões).

Consultando os cadernos de alguns alunos foi possível verificar que os assuntos tratados começaram, a partir do primeiro trimestre, por definição de temperatura, avançando para escalas termométricas, dilatação de sólidos e líquidos, calor e seus processos de transferência, mudança de estados físicos e leis da termodinâmica. Estes assuntos no primeiro trimestre, segundo os alunos, foram abordados basicamente por aulas expositivas com abordagem teórica e realização de exercícios. No segundo trimestre os alunos começaram por definição de onda. Tiveram a diferenciação entre ondas mecânicas e eletromagnéticas, realizaram cálculos com a equação que relaciona velocidade, comprimento de onda e frequência. Estudaram os fenômenos ondulatórios: reflexão, refração, interferência, difração e ressonância. Apesar de ter sido apresentado o conceito de ondas eletromagnéticas, nos cadernos consultados não foi encontrado referências ao espectro eletromagnético, embora estivessem alguns exercícios que utilizavam a velocidade da luz e um exercício que calculava o comprimento de onda para duas frequências de rádio (um para AM e outro FM).

Quando iniciamos a aplicação deste trabalho, em 27/10/2016, o colégio estava em seu terceiro trimestre e, os alunos, estavam estudando os primeiros conceitos de óptica. Estavam atrasados em relação ao programa da disciplina devido a dias de paralisações e de períodos reduzidos que haviam afetado as aulas. Iniciaram o estudo da óptica pela definição e propriedades dos raios luminosos.

Perguntados sobre os recursos utilizados em aula pelos professores, os alunos relataram que eram aulas “com explicação” e quadro (expositivas) e que do conjunto de 12 professores que eles tinham, dois utilizavam o recurso de *data-show* para passar *slides* com frequência, mas a aula em si não mudava muito, salvo em ocasiões que era mostrada alguma figura, gráfico ou tabela que seria mais difícil de

explicar com recurso apenas do quadro branco. Os alunos não sabiam da existência dos *netbooks*, que eles tinham à sua disposição para uso em aula. O professor da disciplina, assim como todos os outros do colégio, sabem da existência dos *netbooks* - que ao total somam setenta- e sabem que estão disponíveis ao uso. Na verdade os professores são incentivados a usar os *netbooks* em sala de aula.

No caso deste trabalho, foi instalado o programa *Stellarium* em cada *netbook* que foi usado. Isso demandou tempo que precisei dispor para instalar o programa em cada um dos 35 *netbooks* que dispúnhamos naquela sala. Talvez um dos motivos pelos quais os professores não os utilizam seja pelo fato de que teriam que dedicar um tempo além de suas aulas para instalar o tipo de programa de seus interesses para usar em aula, uma vez que o colégio não dispõe de técnicos que auxiliem os professores em preparo de aulas. No entanto, o ganho que se pode ter em qualidade da aula é muito grande quando se usa ferramentas educacionais adequadas ao assunto que se está trabalhando. De acordo com Heidemann, Araujo e Veit (2012), atualmente pouco se faz em ciência sem recursos computacionais. No caso deste trabalho foi usado o *Stellarium*, mas dentro da astronomia, temos outras possibilidades de utilizar a informática como ferramenta para simulações, como por exemplo o *software Celestia*⁷ ou o *NaapLabs*⁸, ambas ferramentas livres. O *Celestia* está na linha do *Stellarium* mas bem menos didático (percepção minha). Já o *NaapLabs* é um endereço eletrônico, desenvolvido na Universidade de Nebraska-Lincoln, Estados Unidos. O material nele disponível permite realizar simulações de fenômenos físicos relacionados à astronomia. É um material muito bom e de fácil compreensão quanto às simulações de fenômenos físicos. O senão é que o material está em inglês, que pode gerar alguma barreira de uso caso não haja ao menos um domínio em nível básico da língua inglesa.

Agora, analisando mais detidamente a aplicação deste trabalho, pode-se dizer que a primeira aula já gerou um impacto positivo à medida que o tema abordado, astronomia e astrofísica, foi recebido pelos alunos com um misto de curiosidade e interesse pela proposta. A receptividade de analisar imagens em

⁷ *Celestia* é um *software* voltado à astronomia. Através dele podemos localizar parâmetros astrofísicos de objetos astronômicos, semelhante ao que se faz com o *Stellarium*.

⁸ *NaapLabs: The Nebraska AstronomyApplet Project* é um laboratório *online* onde é possível fazer simulações de fenômenos físicos relacionados à astronomia. Encontrado em <http://astro.unl.edu/naap/>

cartelas distribuídas para todos foi boa e para muitos desafiadores a idéia de identificar corretamente cada imagem analisada. Na primeira aula, além da identificação de imagens, também foram feitas sete questões discursivas a respeito de estrelas e evolução estelar. Não foi dado nenhum tipo de dica para que respondessem, pois a ideia da primeira aula era justamente identificar, aproximadamente, o nível de conhecimento que os alunos tinham a respeito do tema.

Uma das sete perguntas era: “Entre duas estrelas, uma azul e outra vermelha, qual a mais quente?”. A resposta inicial (escrita na folha) para 26 alunos, foi de que a vermelha era a mais quente. Outros cinco alunos responderam que a mais quente era a azul. No entanto, entre estes cinco alunos que responderam que a azul era mais quente, um deles (aluno X) havia participado de uma oficina de astronomia no colégio, ministrada por mim no semestre anterior, onde este tema havia sido abordado. Com base na resposta deste aluno, quatorze outros mudaram suas respostas, o que pôde-se constatar na hora e por respostas apagadas ou rasuradas, pois acreditavam que o aluno sabia bastante a respeito de astronomia. Como foi uma atividade realizada em grupo, não houve nenhum tipo de intervenção por parte do professor que buscasse impedir mudanças de respostas, já que a ideia era a de que os alunos realizassem trocas de informações e debatessem sobre cada tema.

Outra pergunta que constava entre as sete, era: “Você sabe o que é e qual a finalidade do Diagrama Hertzsprung - Russell (diagrama H-R)?”. Vinte e seis alunos não sabiam do que se tratava. Quatro alunos responderam com respostas idênticas: “saber a idade das estrelas”. O aluno X respondeu: “Determinar a posição da estrela com relação a sua temperatura e luminosidade”. Para a pergunta: “Você sabe qual o mecanismo/processo que permite à estrela ter energia? Qual(ais) elemento(s) químico(s) mais abundante(s) existe(m) nas estrelas?”, vinte e três alunos não souberam responder, seis alunos responderam apenas: “hidrogênio”; um aluno respondeu: “fusão e hidrogênio”. O aluno X respondeu: “fusão, hidrogênio e hélio”. Com base nas respostas dadas, pode-se perceber que a grande maioria dos alunos não conhecia nada sobre o tema. O aluno X, que respondeu corretamente às questões propostas, já havia participado de oficina de astronomia, realizada em turno inverso no semestre anterior. A partir deste diagnóstico as aulas seguintes

foram planejadas visando suprir o máximo de carências possíveis entre as identificadas.

Mas a aula seguinte ainda não tratava de conceitos físicos, uma vez que ela tinha como propósito apresentar e familiarizar os alunos com o *Stellarium*. Foi uma aula que contou com grande participação dos alunos. No primeiro momento, usando um *data-show*, mostrei a tela de abertura do *software* e identifiquei ferramentas que ele oferecia, orientando-os a usá-las em execução de tarefas simples. A primeira ação que fizeram foi, a partir da janela “localização”, ajustar o local para Porto Alegre. Depois exploramos como tirar e colocar atmosfera, localizar um astro, colocar linhas de constelações, entre outras tarefas. Então localizamos o Sol pelo *Stellarium* para aquele horário em Porto Alegre e verificamos os dados oferecidos pelo *software* quanto às coordenadas de azimute e altura. Fomos à janela da sala para localizá-lo e conferir se nossa medida se aproximava da apresentada pelo programa. Como em uma oficina anterior com outro grupo de alunos eu havia localizado a linha de meridiano a partir da quadra do colégio, expliquei a eles onde ficava aproximadamente o ponto cardinal norte e sul, dei uma noção de medida azimutal e, para altura de um astro usamos o método de que um punho fechado equivale a um ângulo de 10° no céu, para uma pessoa típica. Fazendo as medidas, verificamos que nosso método estava aproximadamente de acordo com o que o *Stellarium* apresentava para o Sol naquele momento. Para solidificar o modo de procura de objeto, fizemos ainda com a estrela Antares e com Rigil Kent. Para ambas exploramos as linhas de constelação, identificando a Constelação de Escorpião, do Centauro e do Cruzeiro do Sul. Após estas atividades, realizadas com o auxílio do professor, os alunos foram orientados a localizar outros astros e a tomar nota, para alguns deles, dos parâmetros distância, magnitude, magnitude absoluta e tipo espectral, com o objetivo de que os alunos adquirissem familiaridade com a coleta de dados que ocorreria na quinta aula. Cumpridas algumas tarefas indicadas, os alunos passaram a explorar o *software* livremente.

Alguns alunos questionaram a razão pela qual outros professores não utilizavam os *netbooks*, pois era a primeira vez que estavam usando. Procurei não me posicionar quanto aos motivos, mas orientei os alunos que pedissem aos professores para desenvolver aulas que contemplassem o uso dos *netbooks*. Mas o objetivo desta aula foi atingido. Os alunos mostraram facilidade em navegar pelo

Stellarium e, embora cada um tivesse um *netbook*, trabalharam de forma colaborativa, trocando informações à medida que as atividades ocorriam. Assim, foi possível perceber que o uso do *Stellarium* não seria problema no desenvolvimento do trabalho. Os alunos estão familiarizados com o uso de programas e mídias e isso pode ser um fator facilitador para adoção dessas ferramentas por parte do professor em sala de aula.

As duas primeiras aulas foram balizadoras para o restante do trabalho. Nas aulas 3 e 4 foram abordados os temas que envolvem a evolução estelar e, portanto muitos aspectos da FMC foram explorados. O primeiro conceito físico explorado foi o de temperatura. Os alunos haviam trabalhado nas aulas de física as escalas termométricas e sabiam converter de uma escala para outra, como da escala Celsius para Kelvin, por exemplo. No entanto, eles não tinham ideia dos valores de temperatura que podem ser encontrados em meios estelares e ficaram surpresos quando escutaram que a temperatura vai de milhares a milhões ou bilhões de graus. Percebeu-se que os alunos sabiam que o zero Kelvin era a menor temperatura atingível, mas quanto a limites superiores, não faziam ideia da ordem de grandeza que se podia atingir.

Após discutirmos sobre as condições para uma estrela se formar, optou-se por começar explorando o espectro eletromagnético, uma vez que seria muito citado na seqüência das aulas. Usando apresentação em *power point*, foi mostrada uma figura com a representação de um espectro eletromagnético semelhante ao da figura 1 apresentado na seção 6.1. Abordamos os limites do espectro e o crescimento da energia de acordo com aumento da frequência ou decréscimo do comprimento de onda. Destacamos a faixa estreita que a luz visível ocupa no espectro eletromagnético, em relação aos outros tipos de radiação eletromagnética. Os alunos, apesar de terem estudado o conteúdo de ondas e de terem feito exercícios usando frequências de rádio, não tiveram explicação sobre o espectro eletromagnético. Foi novidade quando viram a figura apresentada e não sabiam interpretá-la inicialmente. Exploramos por volta de 10 minutos o espectro e avançamos.

Introduzi o tema radiação de corpo negro, explicando que um corpo negro é um tipo de corpo que absorve toda a radiação que nele chega e que corpos negros emitem espectros térmicos de caráter universal. Traduzi “caráter universal”

exemplificando que para este tipo de corpo, a linha de emissão de radiação térmica é específica para cada temperatura. Interpretamos um gráfico da radiância espectral em função do comprimento de onda como o da figura 2, na seção 6.2, para tentar deixar claro que à medida que a temperatura aumenta, o pico de radiação se desloca para comprimentos de onda menores, como prediz a teoria para radiação de corpo negro. Neste momento falamos na Lei de Wien associando o pico de intensidade de radiação emitida pelo corpo negro com sua temperatura. Mostrei a equação que traduz a Lei de Wien e por ali expliquei como podemos determinar a temperatura de uma estrela com base no espectro por ela emitido, sendo preciso neste momento falar sobre espectroscopia. Os alunos haviam questionado inicialmente como se poderia determinar uma temperatura à distância e, a partir deste momento, passaram a ter a resposta para esta pergunta.

Fomos à figura do espectro eletromagnético que havíamos apresentado anteriormente e verificamos os comprimentos de onda do azul e do vermelho. Aplicamos a Lei de Wien e falamos sobre a cor de uma estrela e sua temperatura, reportando à pergunta feita na primeira aula sobre qual estrela seria mais quente entre uma vermelha e uma azul. A partir dos cálculos feitos ficou claro para os alunos que a azul era mais quente e porque isso ocorria. Complementamos este tópico calculando as energias associadas aos fótons nos comprimentos de onda do vermelho e do azul, mostrando a diferença de energia entre os dois comprimentos de onda. Para isso, utilizamos a equação 3, apresentada na seção 6.2. Um aluno comentou - e outros concordaram com ele - que entendia que uma estrela de cor azulada era mais fria que uma avermelhada pelo fato de ele ter aprendido que a cor azul é fria e que a vermelha é quente. Complementou dizendo que sabia que as cores vermelha, amarela e laranja eram chamadas de quentes porque remetiam lembranças ao Sol ou ao fogo, enquanto que o azul, o verde e o violeta são cores frias porque remetiam à água e ao frio. Conversamos sobre esta questão por alguns minutos e procuramos mostrar que o princípio envolvido na temperatura não passa pelo aspecto visual em que a cor possa estabelecer algum tipo de sensação na pessoa; e sim, que se tratava da diferença nos comprimentos de onda de cada faixa de radiação, portanto, quanto menor o comprimento de onda mais energético é o fóton e, desta forma a radiação térmica emitida nos informará que a temperatura será tanto maior quanto menor for o comprimento de onda.

Então surgiu a questão do brilho. Uma aluna perguntou se as estrelas tinham todas, tamanhos próximos ou se existiam algumas muito maiores que as outras, e o que fazia uma estrela brilhar mais do que a outra. Para responder foi necessário perguntar à turma se sabiam calcular a área de uma esfera. Nenhum aluno sabia, ou ao menos, se sabia, não se manifestou. Então, passamos brevemente pela definição de o que é uma esfera identificando o raio, mostrando como se calcula a área da superfície esférica, bem como seu volume. Em um tempo aproximado de 15 minutos realizamos esta tarefa, tomando como exemplo o Sol, cujos dados como seu raio, tinham aparecido em um slide na apresentação. Primeiro calculamos a área total da superfície solar. Depois calculamos seu volume. Foi possível verificar que os alunos tinham dificuldades com cálculos que envolviam notação científica. Para completar a resposta à pergunta da aluna, usamos como exemplo a questão de número 2 da Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA) da prova para o nível IV de 2014. Esta questão informa que o diâmetro da estrela Antares é cerca de 900 vezes maior que o diâmetro do Sol (a questão foi lida à turma) e pergunta qual o diâmetro de Antares em Unidade Astronômica (UA). Antes de iniciarmos os cálculos houve o questionamento de como fazer. Alguns alunos responderam que deveríamos “substituir os valores na fórmula e fazer a conta”. No entanto, o aluno X que já havia participado de oficinas de astronomia, falou que bastava considerar o raio do Sol igual a 1 e o de Antares igual a 900 e substituir este valor para fazer os cálculos de área e volume em função da área e volume do Sol. Dessa forma, vimos que a área de Antares é $(900)^2$ vezes maior que a área do Sol e que o volume de Antares é $(900)^3$ vezes maior que o Sol. Ou seja, quanto ao volume, cabem dentro de Antares 729×10^6 (729 milhões) de estrelas iguais ao nosso Sol. Houve certo espanto, o que é totalmente compreensível, pois os alunos não imaginavam uma estrela tão maior que o Sol. Como a questão da OBA perguntava qual era o diâmetro de Antares em UA, falamos sobre essa unidade de medida também, dizendo que uma UA equivale à distância média entre a Terra e o Sol, que é aproximadamente igual 150 milhões de quilômetros. Aproveitou-se então para falar de outras unidades de medida usadas em astronomia, como o ano-luz (al) e o parsec (pc). Para terem idéia do tamanho de 1 al, propomos calcular a distância que a estrela Próxima Centauri está de nós. Multiplicamos o valor da velocidade da luz (em $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$) pelo número de segundos de um dia, pelo número de dias de um ano. O valor obtido, com a resposta em km, foi identificado como o tamanho de um al. Este

valor multiplicado por 4,24 forneceu a distância em km da Terra até Próxima Centauri, que na verdade faz parte de um sistema triplo de estrelas (Próxima Centauri, Alfa Centauri A e Alfa Centauri B). O valor encontrado foi aproximadamente igual a 40 trilhões de quilômetros, o que surpreendeu muitos alunos. Foi ressaltado que apesar de 1 al ser um valor grande em quilômetros, ele era relativamente pequeno para distâncias astronômicas e que uma outra unidade denominada parsec (e seus múltiplos kpc, Mpc,...) era usada para distâncias maiores. Não foram feitas contas neste momento que envolvesse a unidade de medida pc, mas foi informado que 1pc equivale a 3,26 al.

A comparação feita de Antares com o Sol a partir da questão da OBA, bem como a abordagem em relação às unidades de medidas astronômicas, satisfaz o questionamento em relação aos tamanhos de estrelas. No entanto a pergunta da aluna em relação ao brilho das estrelas ainda não estava respondida. Para falar a respeito do brilho das estrelas o conceito de luminosidade foi apresentado. Definimos luminosidade como a quantidade total de potência eletromagnética da estrela. Os alunos ainda não tinham estudado o tema potência, mas aproveitamos a ocasião para mostrar que a potência é uma relação entre a energia e o tempo. Usamos o exemplo de um chuveiro elétrico ligado em duas “estações” diferentes para entender o aquecimento da água. Ressaltamos que para a mesma quantidade de água que entra no chuveiro, se em uma estação aquece mais (no mesmo tempo) é porque nesta estação a potência é maior, ou, a energia transformada – de elétrica em térmica - é maior. Assim, associamos a luminosidade de uma estrela à energia emitida por segundo e apresentamos a equação 9 da seção 6.4 ($L = F4\pi R^2$), que mostra que a luminosidade L é o produto do fluxo F de radiação emitida pela estrela, pela área total da estrela. Precisou-se definir fluxo de uma estrela como sendo a quantidade de energia por unidade de área, por unidade de tempo que conseguimos medir com um detector. Para tentar usar uma linguagem mais próxima à dos alunos, fizemos uma comparação com pessoas passando por uma roleta na entrada de um estádio de futebol, onde a roleta permite contar quantas pessoas passam pela entrada em um determinado tempo, permitindo dizer qual o fluxo de pessoas que passam pela entrada do estádio. O objetivo aqui foi tentar fazer o aluno entender o fluxo como uma quantidade que passa em determinado local em um dado tempo, com noção de continuidade.

Foi um pouco mais trabalhoso do que o esperado explicar os tópicos fluxo e luminosidade. A linguagem científica pareceu pesar um pouco mais do que o habitual, talvez porque os alunos ainda não tivessem embasamento que desse suporte a entenderem aqueles conceitos. O uso dos exemplos do chuveiro e do estádio foi uma tentativa que intencionou tornar mais simples a compreensão dos conceitos.

Dadas as definições de fluxo e luminosidade, falamos que o brilho de uma estrela está relacionado à sua luminosidade de tal forma que quanto mais luminosa a estrela, mais brilhante ela é. Neste ponto relacionamos as grandezas luminosidade e magnitude absoluta como equivalentes, destacando que a escala de magnitude assume valores positivos e negativos e que, quanto mais negativa (menor) for a magnitude absoluta de uma estrela, mais brilhante ela será. Então diferenciamos magnitude absoluta (M) de magnitude aparente (m), dizendo que esta é a medida do brilho da estrela, sem levar em conta sua distância até a Terra, enquanto que a magnitude absoluta é a magnitude aparente da estrela se ela estiver a uma distância de 10 pc da Terra. Usamos como exemplo o Sol, que tem $m = -26,74$ e $M = 4,83$. Para exemplificar que se o Sol estivesse a 10 pc da Terra, ele seria uma estrela pouco brilhante, tomamos por comparação a estrela Betelgeuse, cuja $m = 0,45$ e se estivesse a 10 pc, teria $M = -5,14$, portanto, muito mais brilhante que o Sol. Para fazermos esta comparação acessamos o *Stellarium* e localizamos a estrela Betelgeuse na Constelação de Orion, selecionando-a para obter os parâmetros m e M . Os alunos não apresentaram dificuldades para entender a diferença entre magnitude aparente e magnitude absoluta.

Considerando que vários aspectos relacionados à FMC já haviam sido abordados, decidimos começar a entender o que era, para o que servia e como se construía um diagrama H-R. Começamos pela projeção de imagem da figura 7 da seção 6.7, que representa um diagrama H-R. Pela análise da figura percebe-se que no eixo y está representada a luminosidade e no eixo x, está a temperatura. Mas, paralelo à luminosidade está representada a magnitude absoluta e, paralelo ao eixo das temperaturas está representada a classe espectral. Como já havia sido discutida a relação entre luminosidade e magnitude absoluta, fizemos apenas alguns comentários usando os dados do diagrama para relembrar esta relação. No entanto, a temperatura ainda não havia sido relacionada à classe espectral. Por isso, fizemos

a relação a partir de então, mostrando as classes espectrais que tínhamos presentes no diagrama e a quais intervalos de temperatura pertenciam aproximadamente. Não houve dificuldades dos alunos quanto divisão das classes espectrais nem quanto ao entendimento da relação entre temperatura e classe espectral.

Passamos a estudar as diferentes regiões do diagrama H-R começando pela seqüência principal (SP). Foi explicado que, para termos de classificação estelar, todas as estrelas começam sua vida pela SP, período no qual sua principal fonte de energia é a fusão dos átomos de H em He, pois nesta fase aproximadamente 80% da massa das estrelas é H. Relembramos a relação entre cor e temperatura e destacamos que as estrelas mais vermelhas da SP são mais frias superficialmente e, portanto, menos luminosas, enquanto que as mais azuis - que são mais quentes superficialmente - são mais luminosas. Como consequência, as estrelas azuis ficam em uma região mais alta no diagrama H-R. Da mesma forma, foi explicado que as estrelas mais brilhantes também têm maior massa, portanto, as massas das estrelas azuis são maiores que a das estrelas vermelhas. Localizamos o Sol na SP e verificamos sua luminosidade e temperatura, destacando que o eixo luminosidade estava apresentado no diagrama H-R em função da luminosidade do Sol. Usando ainda o Sol como exemplo, mostramos como será sua evolução, saindo da SP, indo para a fase de gigantes e terminando como anã branca. Utilizando um quadro resumido sobre evolução estelar, mostrou-se o destino final de estrelas de diferentes massas, que resultam em anãs brancas, estrelas de nêutrons ou buracos negros. Pela curiosidade que desperta, os alunos se interessaram em saber mais sobre buracos negros, o que foi feito como fechamento do tópico evolução estelar.

De uma maneira geral, os alunos gostaram bastante da proposta das aulas. Em alguns momentos, quando trabalhou-se a parte matemática, houve uma dificuldade um pouco maior, o que aconteceu também durante a exposição de alguns conceitos físicos relacionados à radiação de corpo negro, fluxo e luminosidade. O uso de exemplos relacionados mais ao cotidiano dos alunos, neste caso foi uma alternativa que ajudou a tornar as explicações mais compreensíveis. A possibilidade de utilizar nas duas semanas o período de Filosofia da professora licenciada, também colaborou, pois poderemos trabalhar com mais tranquilidade, uma vez que utilizamos seis períodos de 50 minutos cada, ao invés de quatro períodos conforme era previsto. Em quatro períodos seria inviável dar conta de apresentar

todos os conceitos e fazer todas as discussões que foram provocadas nos encontros.

Para a aula de coleta de dados os alunos receberam a lista de estrelas que deveriam procurar no *Stellarium*. A previsão inicial era a de que os alunos dividissem computadores para fazer a pesquisa, porém, cada aluno recebeu um *netbook*. Com isso todos puderam fazer a pesquisa para um conjunto de estrelas. A “setorização” da turma em grandes grupos ajudou na troca de informações entre os alunos. Percebeu-se um trabalho colaborativo, no sentido de que os alunos que apresentaram maior facilidade no uso das ferramentas do *software*, ajudaram os alunos que apresentaram alguma dificuldade. Como cada grande grupo ficou responsável pela coleta de dados para um determinado número de estrelas (escolhidas por constelações), pôde-se coletar os dados pedidos para todas as estrelas selecionadas. À medida que terminavam a coleta, muitos alunos continuaram a utilizar o *Stellarium*, ou para apanhar dados das estrelas de outras constelações que não as suas, ou para procurar outros astros explorando as ferramentas do *software* de forma livre. Os alunos, em alguns momentos, comentaram que gostariam de ter mais aulas naquele estilo, onde eles pudessem participar de forma mais ativa e que pudessem utilizar os *netbooks*, que até então, nem sabiam que existiam no colégio. Essa é uma questão que merece ser melhor avaliada. Por que o professor, tendo uma ferramenta que pode ser muito útil na prática didática, não faz uso da mesma?

Finalmente, a culminação do trabalho veio com a construção do diagrama H-R. Os alunos sabiam o que fariam naquela aula, embora não soubessem como. Dividimos a turma em dois grupos e usamos papel tipo cartolina de 50 cm x 70 cm. Os alunos foram orientados quanto à forma de identificar os eixos coordenados na cartolina e o fizeram com ajuda do professor e bastante participação de parte deles mesmos com sugestões de como fazer. Uma vez identificadas, as cartolinas foram fixadas no quadro branco. Para cada grupo, um aluno, de posse da lista de estrelas, dizia os parâmetros da estrela a marcar e, uma dupla de alunos se dirigia ao quadro para fazer a marcação. No processo de marcação usavam duas régua de 80 cm, uma perpendicular à outra para determinar o ponto correto. O uso das régua foi para localizar da forma mais correta possível o valor da luminosidade (na horizontal) e o da classe espectral (na vertical). As duplas de alunos faziam a marcação de

forma cíclica, o que permitiu a participação de todos na marcação dos pontos. O início deste processo foi um pouco lento, mas logo em seguida passou a ocorrer com mais facilidade. Assim como nas aulas de evolução estelar (aulas 3 e 4), esta última também foi realizada em três períodos de 50 minutos cada, o que permitiu realizar o trabalho conforme havia sido planejado. Em apenas dois períodos não seria possível construir os diagramas e fazer o fechamento do trabalho repassando alguns tópicos trabalhados a respeito de FMC.

Ao final das aulas foi solicitada uma avaliação por parte dos alunos com respeito aos assuntos abordados, recursos utilizados e interesse do tema. Na avaliação puderam escrever livremente sobre o que acharam. A avaliação de seis alunos é reproduzida a seguir:

Aluno A: “Achei bem legais as aulas pois acho que a astronomia é um assunto interessante de se debater. Com as imagens que vc nos deu, aprendi e conheci como são um pouco das galáxias, estrelas quentes ou frias, sol, as luas e muito mais”.

Aluno B: “Gostei do assunto, pois acho interessante saber sobre estrelas. Aprendi que é bem fácil localizar a constelação do meu signo no céu. Eu sou de escorpião e vi que numa época do ano posso ver no céu e a estrela antares é bem destacada nela. Também gostei de usar o netbook para fazer o trabalho”.

Aluno C: “Já tinha feito oficinas de astronomia com o senhor e já sabia bastante coisas que estudamos nas aulas. Pude ajudar alguns colegas na hora de responder o questionário e na pesquisa no Stellarium. Reforcei o que já sabia e gostei das aulas porque foram diferentes das que estamos acostumados”.

Aluno D: “Não entendi muito bem na hora das contas para comparar sol e antares. Também não entendi direito corpo negro. Mas achei interessante a ideia de usar computador para a gente pesquisar”.

Aluno E: “Para mim, uma estrela vermelha deveria ser mais quente que uma azul, já que sabia que a cor vermelha é mais quente que a azul. Mas daí vi que é diferente, e que isso não vale para as estrelas. Estudamos assuntos que eu ainda não tinha estudado e gostei de conhecer nomes de estrelas e constelações. Aprendi que dá para achar o ponto sul pela constelação do Cruzeiro do Sul e também

descobri que em Porto Alegre o sol não fica bem encima da nossa cabeça quando é meio dia”.

Aluno E: “Nunca tinha ouvido falar em gráfico para classificar estrelas, e não sabia que dava para saber a temperatura delas assim como estudamos. Gostei das aulas porque foram diferentes. Achei legal saber que tem estrelas de tamanhos tão diferentes e, algumas bem maiores do que o sol. Nunca tinha usado os computadores do colégio, e nestas aulas pude usar com o stellarium. Acho que deveríamos ter mais aulas assim”.

Fechando esta seção, cabe destacar alguns pontos que podem trazer dificuldades no desenvolvimento de um trabalho deste tipo. O primeiro é na seleção de imagens e apropriação de suas descrições em relação aos objetos astronômicos que representam. Ou seja, para cada imagem impressa em cartela é necessário que se tenha seu gabarito. Trata-se de um trabalho que demanda tempo e envolvimento, mas que é fundamental no processo. Outro ponto que demanda tempo é a instalação do *software Stellarium* nos computadores. É um “serviço braçal” que precisa ser feito em cada computador que será usado. Uma vez que estas etapas são concluídas, a atenção volta-se para o planejamento das aulas de evolução estelar, que deve contemplar todas as fases da vida de uma estrela, desde seus processos de formação até sua morte. São muitos conceitos envolvidos para dar conta de explicar o nascimento, a evolução e a morte estelar, portanto, precisa-se fazer um planejamento criterioso e cuidadoso das aulas. Já na aplicação das aulas, algumas dificuldades que podemos encontrar dizem respeito a por exemplo: desconhecimento de muitos conceitos básicos de física pelos alunos, bem como carência de conhecimentos matemáticos básicos e de pouco poder de abstração. São dificuldades que precisam ser enfrentadas no decorrer das aulas, à medida que às identificamos, sendo necessário dedicarmos algum tempo a elas, na expectativa de saná-las ou diminuí-las ao máximo que pudermos.

9 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta deste trabalho de, a partir da astronomia, incluir abordagens de conceitos de FMC em aulas de Física no EM, utilizando para isso a informática como ferramenta de mediação, foi pensada com o intuito de trabalhar, de fato, a FMC no EM, além de apresentar uma alternativa de metodologia aos professores de Física, que possa contribuir no planejamento de suas aulas.

Fazer a opção por explorar aspectos da FMC tendo por base os temas relacionados à astronomia revelou-se um acerto. Primeiramente, porque muitos aspectos da FMC podem ser explorados a partir dos fenômenos físicos que ocorrem nas estrelas, que foi a abordagem deste trabalho. Outro ponto importante que revela o acerto da escolha, foi a aceitação da proposta por parte dos alunos, que demonstraram interesse pela metodologia e participaram de forma efetiva durante as aulas. Talvez a curiosidade que temos em querer entender um pouco melhor os “mistérios” da astronomia seja um fator que colaborou para essa resposta positiva dos alunos.

Da mesma forma, o uso da informática e de um *software* de fáceis comandos, como é o *Stellarium*, também ajudou no envolvimento que os alunos demonstraram no decorrer das aulas. Assim como o *Stellarium*, existem muitas outras possibilidades de utilização de *softwares* com fins didáticos disponíveis e acessíveis aos professores, o que torna praticamente inconcebível o não uso dessas ferramentas. Aliar essas possibilidades com a naturalidade que os alunos lidam com a informática, é uma iniciativa com grandes chances de apresentar bons resultados. Não se fala aqui em usar por usar recursos de informática em sala de aula. O professor tem que ter claro qual ferramenta usar, quando usá-la, como usá-la e por que ele vai usá-la. Caso contrário estará a caminho de uma aula sem objetivos claros, o que pode torná-la tediosa e desinteressante, onde a novidade terá sido apenas a substituição do quadro pelo computador, não trazendo acréscimo no processo de ensino.

A construção a várias mãos de um diagrama H-R, foi uma forma pensada de trazer a FMC para as aulas de Física. Serviu de caminho para abordagem de conceitos que são muito pouco explorados nos livros de física do EM como, por

exemplo, Espectro Eletromagnético, Quantização de Energia, Cor, Temperatura, Magnitude, e Luminosidade Estelar. Analisando três livros didáticos do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), que poderão ser adotados pelas escolas públicas no Brasil (no Colégio Piratini já se fez uma pré-seleção para os três livros analisados) a partir do ano letivo de 2018 até o final do ano letivo de 2020, na parte de Física Moderna, o tema “radiação térmica”- onde entra o estudo da radiação de corpo negro - aparece nos três de forma sucinta. Biscuola, Bôas & Doca (2017) dedicam três páginas ao tema. Gaspar (2017), dedica quatro páginas. Kazuhito & Fuke (2017), dedicam uma página ao assunto radiação de corpo negro. Se compararmos, com a atenção que é dada à cinemática, por exemplo, veremos que há uma diferença muito grande, no sentido de que esta é muito mais contemplada de forma geral nestes livros didáticos. Ainda com respeito aos livros didáticos, cabe ressaltar que muitas vezes eles são a base dos planejamentos das grades curriculares das escolas. Segundo Lima, Ostermann e Cavalcanti (2017), o livro didático tem um papel extremamente relevante no contexto do Ensino Básico, pois ele não somente pauta a estruturação da disciplina de Física bem como é a fonte dos enunciados sobre ciência. Assim, é preciso que o professor olhe para sua prática didática e procure opções que possam oferecer aos alunos meios de acesso à pesquisa e ao conhecimento que não estejam unicamente nos livros didáticos.

Nesta perspectiva, este trabalho buscou através da mediação, apoiado na teoria de Vygotsky, avançar na construção e consolidação de conhecimentos provocando a participação ativa e protagonista dos alunos, que usaram o *Stellarium* como ferramenta mediadora durante as aulas. O teste aplicado na primeira aula mostrou o que já se esperava: um conhecimento muito pequeno sobre os temas que seriam tratados. Por isso sua função foi balizadora no planejamento das aulas, não significando elaboração de aulas com baixo nível de dificuldade, mas sim, aulas que procurassem apropriar os alunos de conhecimentos que lhes permitissem avançar sozinhos ou com a ajuda de companheiros mais capazes. E isto aconteceu em aula. Houve colaboração mútua entre os alunos em um processo de compartilhamento do aprendido.

Por fim, entendemos que as ferramentas computacionais que temos disponíveis hoje não podem ser desprezadas enquanto meios de mediação entre o aluno e a informação que poderá tornar-se conhecimento. Enquanto prática didática

é importante criar opções que despertem o interesse do aluno, fazendo-o se envolver com as aulas, e isso vai além da aula baseada somente em livros didáticos. Da mesma forma, com tanta inovação tecnológica que nos envolve, é fundamental dedicar mais espaço à FMC nas aulas de Física no EM, uma vez que através dela podemos dar conta de explicar uma série de princípios presentes nas tecnologias atuais. Cabe ao professor de Física procurar alternativas adequadas à sua prática. A realização deste trabalho também teve por objetivo criar uma destas alternativas.

10 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDES, A. O. Observação do céu aliada à utilização do *software Stellarium* no ensino de astronomia em turmas de educação de jovens e adultos (EJA). **Revista Latino- Americana de Educação em Astronomia – RELEA**. n. 10, p. 7-22, 2010.
- BISCUOLA, G. J.; BOAS, N. V.; DOCA, R. H. **Física 3**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2017.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília, 1999.
- COMINS. F.N, KAUFMANN III. J.W. **Descobrimo o Universo**. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- EISBERG. R. & RESNICK, R. **Física Quântica Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro, Editora Campus, 1979.
- FUKE, L. F.; YAMAMOTO, K. **Física para o Ensino Médio**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.
- GASPAR, A. **Compreendendo a Física**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2017. v. 3
- HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Ciclos de modelagem: uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 29, n. Especial 2: p. 965-1007, out. 2012.
- LANGHI, R. & NARDI, R. **Educação em Astronomia**. São Paulo, Escrituras, 2012.
- LANGHI, R. & NARDI, R. Justificativas para o ensino de Astronomia: o que dizem os pesquisadores brasileiros. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, vol 14, no 3, 2014.
- LIMA JR., P.; PEREIRA, A.P. Implicações da perspectiva de Wertsch para a interpretação da teoria de Vygotsky no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n.3, 2014.
- LIMA, N. W; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana dos enunciados em livros didáticos de Física

- aprovados no PNLDEM 2015. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 34. n. 2. p. 435-459, 2017.
- LONGUINI, M. D.; MENEZES, L. D. D. Objeto virtual de aprendizagem no ensino de astronomia: algumas situações-problema propostas a partir do *software Stellarium*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 27. n. 3: p. 433-448, dez. 2010.
- OLIVEIRA F.F, VIANA D. M., GERBASSI R.S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os Professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 23, p. 447-454, 2007.
- OLIVEIRA FILHO, K.S & SARAIVA, M.F.O. **Astronomia e Astrofísica**. São Paulo, Editora Livraria da Física, 2013.
- OSTERMANN, F., FERREIRA, L.M. E CAVALCANTI, C.J.H.**Rev. Bras. Ens. Fis.** v. 20, n. 3, 1998.
- RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA. In: **WIKIPÉDIA, A Enciclopédia Livre**. Flórida: Wikimedia Foundation, 2017. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Radiação_eletromagnética&oldid=49226636>. Acesso em: 13 set. 2017.
- SANTOS, C. A. B. D.; CURI, E. A formação dos professores que ensinam física no ensino médio. **Ciência & Educação**, v. 18, p. 837-849, 2012.
- STEINER, J. & DAMIELI, A. **O Fascínio do Universo**. São Paulo, Odysseus, 2010.
- SLOVINSCKI, L, ALVES-BRITO, A. O experimento da borracha quântica: uso de analogias para o entendimento do quântico pelo clássico. **Texto de Apoio ao Professor de Física**. v. 24, n. 6, 2017.
- www.stellarium.org.pt
- VALENTE, J, A. **Diferentes usos do computador na educação**. Em Aberto, Brasília, ano 12, n.57, jan/mar.1993
- LIMA N.W.,OSTERMANN F., CAVALCANTI C.J.H. **Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados**.Em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM 2015, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 2, p. 435-459, ago. 2017. 435

- OSTERMANN F., CAVALCANTI C.J.H., **Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Elaboração de Material Didático**. Em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. Caderno Catarinense de Ensino de Física. v.16, n.3: p.267-268, dez. 1999.
- NERES, L.B.O **Stellarium como estratégia para o ensino de Astronomia**. Dissertação de mestrado. Ilhéus- BA 2017
- JUNIOR, A.J.R., REIS, T.H., GERMINARO, D.R. **Disciplinas e professores de Astronomia nos cursos de licenciatura em Física das universidades brasileiras**. Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia – RELEA, n.18, p.89 – 101, 2014
- FREDERICO, F.T., GIANOTTO, D.E.P.. **Utilização de software no ensino de Física e Matemática: desafios e reflexões**. Diálogos & Saberes, Mandaguari, v. 9, n.1, p. 39-59, 2013.

11 – ANEXOS

Anexo I

Imagens astronômicas utilizadas em aula



Figura 24: Imagens de cartelas utilizadas como exemplos de galáxias



Figura 25: Imagens utilizadas como exemplos de nebulosas.



Figura 26: Imagens utilizadas como exemplos de estrelas e aglomerados de estrelas.



Figura 27: Imagens usadas como exemplos de galáxias, estrelas e nebulosas.

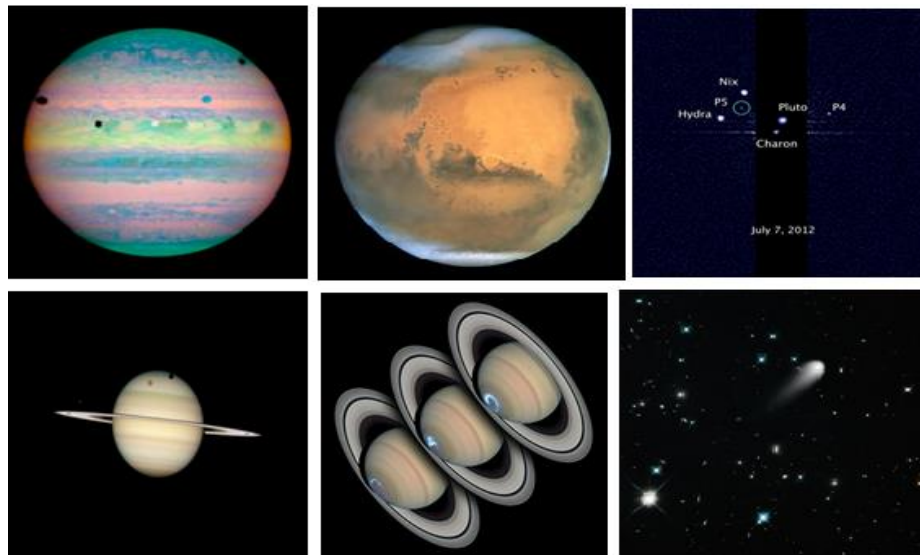


Figura 28: Imagens de cartelas utilizadas como exemplos de planetas, luas e cometa.

Anexo II

Instrumento utilizado na primeira aula para sondagem do nível de conhecimento a respeito dos temas relativos à astronomia

Colégio Estadual Piratini

Professor: Maurício Girardi

Aluno:

Turma 2C

data:27/10/2016

Aplicação de Projeto de Mestrado em Ensino de Física do Mestrado Profissional em Ensino de Física da UFRGS (MPEF)

- 1) Para as cartelas dadas com imagens de objetos astronômicos, identifique, a partir do número etiquetado atrás de cada cartela, cada imagem como sendo:
 - a) Estrelas
 - b) Galáxias
 - c) Cometas
 - d) Planetas
 - e) Nebulosas
 - f) Aglomerados estelares
 - g) Luas
- 2) Você sabe qual o mecanismo/processo que permite à estrela ter energia? Qual (ais) elemento(s) químico(s) mais abundante(s) existe(m) nas estrelas?
- 3) Você sabe que a faixa de emissão de cor de uma estrela é indicativo de sua temperatura?
- 4) Entre duas estrelas, uma azul e outra vermelha, qual tem temperatura maior?
- 5) A massa de uma estrela quando formada, influencia no seu ciclo evolutivo? Se sim, diga quais possíveis fases finais de processos evolutivos que você conhece, estudou ou já ouviu falar?
- 6) Você sabe o que é e qual a finalidade do Diagrama Hertzsprung-Russell (diagrama H-R)?
- 7) Você sabe qual a temperatura na superfície e no núcleo do nosso Sol? Se sabe, escreva quais são elas.
- 8) Você saberia dizer quais são os possíveis estágios finais das estrelas, ou seja, em que se transformam no final de sua vida? Se sim, diga quais e de que dependem para se tornar um ou outro objeto astrofísico.

Anexo III

Lista de estrelas a terem registrados seus parâmetros astrofísicos para fins de construção coletiva do diagrama H-R

Colégio Estadual Piratini

Aplicação de Projeto de Mestrado em Ensino de Física do Mestrado Profissional em Ensino de Física - UFRGS (MPEF)

Professor: Maurício Girardi

Aluno:

Turma 2C

Data:24/11/2016

Constelação de Escorpião – localizar e anotar a Magnitude, Magnitude Absoluta, Tipo espectral e Distância para as estrelas:

Antares

HIP 78820

HIP 78401

HIP 78265

HIP 81266

HIP 82396

HIP 82514

HIP 82729

HIP 84143

HIP 86228

HIP 87073

HIP 86670

HIP 85927

Constelação de Orion – localizar e anotar a Magnitude, Magnitude Absoluta, Tipo espectral e Distância para as estrelas:

Betelgeuse

Belatrix

Alnilam

Alnitak

Mintaka

HIP 28269

HIP 27913

HIP 29038

HIP 28614

HIP 22845

HIP 22509

HIP 22449

HIP 22549

HIP 22797

HIP 23123

HIP 27366

HIP 24436 (Rigel)

Constelação de Touro – localizar e anotar a Magnitude, Magnitude Absoluta, Tipo espectral e Distância para as estrelas:

Aldebaran

Alnath

HIP 21881

HIP 26451

HIP 20885

HIP 20205

HIP 20455

HIP 17847

HIP 18724

HIP 15900

HIP 17573

Constelação de Gêmeos – localizar e anotar a Magnitude, Magnitude Absoluta, Tipo espectral e Distância para as estrelas: 95

Pollux

Castor (HIP 36850)

HIP 37740

HIP 36962

HIP 36046

HIP 34693

HIP 33018

HIP35550

HIP 35350

HIP32362

HIP 31681

HIP 34088

HIP 32246

HIP 30883

HIP 30343

HIP 29655

HIP 28734

Constelação do Cruzeiro do Sul – localizar e anotar a Magnitude, Magnitude Absoluta, Classe espectral e Distância para as estrelas:

Mimosa (HIP 28734)

Gacrux (HIP 61084)

Acrux (HIP 60718)

HIP 59747

HIP 60260

Constelação do Centauro – localizar e anotar a Magnitude, Magnitude Absoluta, Tipo espectral e Distância para as estrelas:

Rigel Kent

Hadar

HIP 66657

HIP 68002

HIP 68282

HIP 68933

HIP 61932

HIP 59196

Constelação da Ursa Maior – localizar e anotar a Magnitude, Magnitude Absoluta, Classe espectral e Distância para as estrelas:

HIP 41704

HIP 46733

HIP 54061

HIP 59774

HIP 62956

HIP 65378

HIP 67301

HIP 58001

HIP 53910

HIP 47006

HIP 54539

HIP 50372

HIP 50801

Constelação do Leão – localizar e anotar a Magnitude, Magnitude Absoluta, classe espectral e Distância para as estrelas:

HIP 49669

HIP 57632

HIP 54872

HIP 54879

HIP 50583

HIP 47908

HIP 50335

Outras Estrelas - localizar e anotar a Magnitude, Magnitude Absoluta, Tipo espectral e Distância para as estrelas:

Altair

Capela

Achernar

Canopus

Sirius

Arcturus

Veja

Polaris

Procyon

Pesquise no Stellarium ao menos mais 10 estrelas e colete os dados conforme os exercícios anteriores.

Anexo IV

Produto Educacional

O produto para fins educacionais elaborado a partir desta dissertação pode ser encontrado no endereço eletrônico: http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/rd/n05_Girardi/