

Produto Educacional

DESVENDANDO AS ESTRELAS

Um jogo para o Ensino Médio



Adriana Queiroz Agostinelli Ribeiro

Laura Paulucci

O presente produto educacional tem como principal objetivo responder um questionamento recorrente dos alunos: “Como se obtém as informações a respeito dos astros?”. Assim, o produto foi desenvolvido de modo que os conceitos físicos necessários para a coleta destas informações fossem trabalhados de forma aplicada à astronomia, desenvolvendo ambos de forma integrada.

Assim, o professor tem em suas mãos um produto que abrange conceitos da física clássica e moderna e procura uma forma de trabalho voltada para atividades práticas e maior participação dos alunos.

O produto educacional é uma sequência didática utilizando metodologias ativas e estratégias de jogo. Foram estabelecidas três dinâmicas para tratar sobre temas introdutórios e de bastante relevância para a compreensão da física nas estrelas e uma dinâmica final para observação virtual e classificação das mesmas no chamado Diagrama Hertzsprung-Russell (HR), extremamente importante para o estudo estelar. Desta forma, todas as etapas tem relação (direta ou indireta) com o diagrama HR, construindo bloco a bloco os conceitos necessários para seu entendimento.

Assim, o produto fica dividido em:

Introdução

Tema 1: Brilho

Tema 2: Energia

Tema 3: Espectroscopia

Tema 4: Observação Virtual

Para a utilização da sequência didática como jogo, peça que os alunos se dividam em grupos de até 5 alunos. Ao final de cada etapa os alunos deverão socializar suas conclusões, e cada tarefa cumprida vale pontos para um jogo de tabuleiro.

Para cada um dos temas, utilize a seguinte sequência:

1. Questão norteadora;
2. Realização das dinâmicas;
3. Conclusões.

A primeira etapa, com a questão norteadora, inclui também levantamento das hipóteses do grupo para a solução da questão. A realização das dinâmicas inicia-se com a montagem do experimento e coleta de dados e é finalizada com a tarefa preliminar e discussão em grupos. A finalização de cada tema ocorre com as conclusões, que incluem sistematização do conhecimento e realização das tarefas principais.

A.1 O tabuleiro do jogo

A estratégia de jogo ocorre através de uma corrida de tabuleiro onde os grupos devem percorrer um certo trajeto. O tabuleiro do jogo foi montado sobre o diagrama HR (Fig. A.1), com uma sequência que percorre a trajetória evolutiva do Sol, partindo do seu posicionamento atual, na sequência principal, até que se torne uma supergigante. Assim, de forma simbólica e lúdica, o aluno percorre o mesmo caminho, tornando-se um “supergigante” em conhecimento ao final do percurso.

O tabuleiro, assim como o diagrama HR da atividade final e demais informações pertinentes ao curso foram organizados em um quadro de cortiça que durante todo o curso ficou a disposição dos alunos para observação e consulta (Fig. A.2) *.

A.2 Introdução

A aula introdutória é dividida em duas partes:

Parte 1 - Características do Jogo

Inicialmente, discuta com os alunos os objetivos e regras do jogo. Ressalte a importância da socialização das conclusões obtida pelos alunos dentro dos grupos para que o objetivo principal, que todos os alunos consigam atingir uma qualidade excelente de conhecimento, seja alcançado[†].

*O tabuleiro foi alterado após a aplicação para uma melhor assimilação de conteúdo

[†]O caráter colaborativo do jogo foi alterado após a aplicação pois a colaboratividade entre grupos dificultou sua dinâmica, uma vez que culturalmente os jogos proporcionam um caráter competitivo

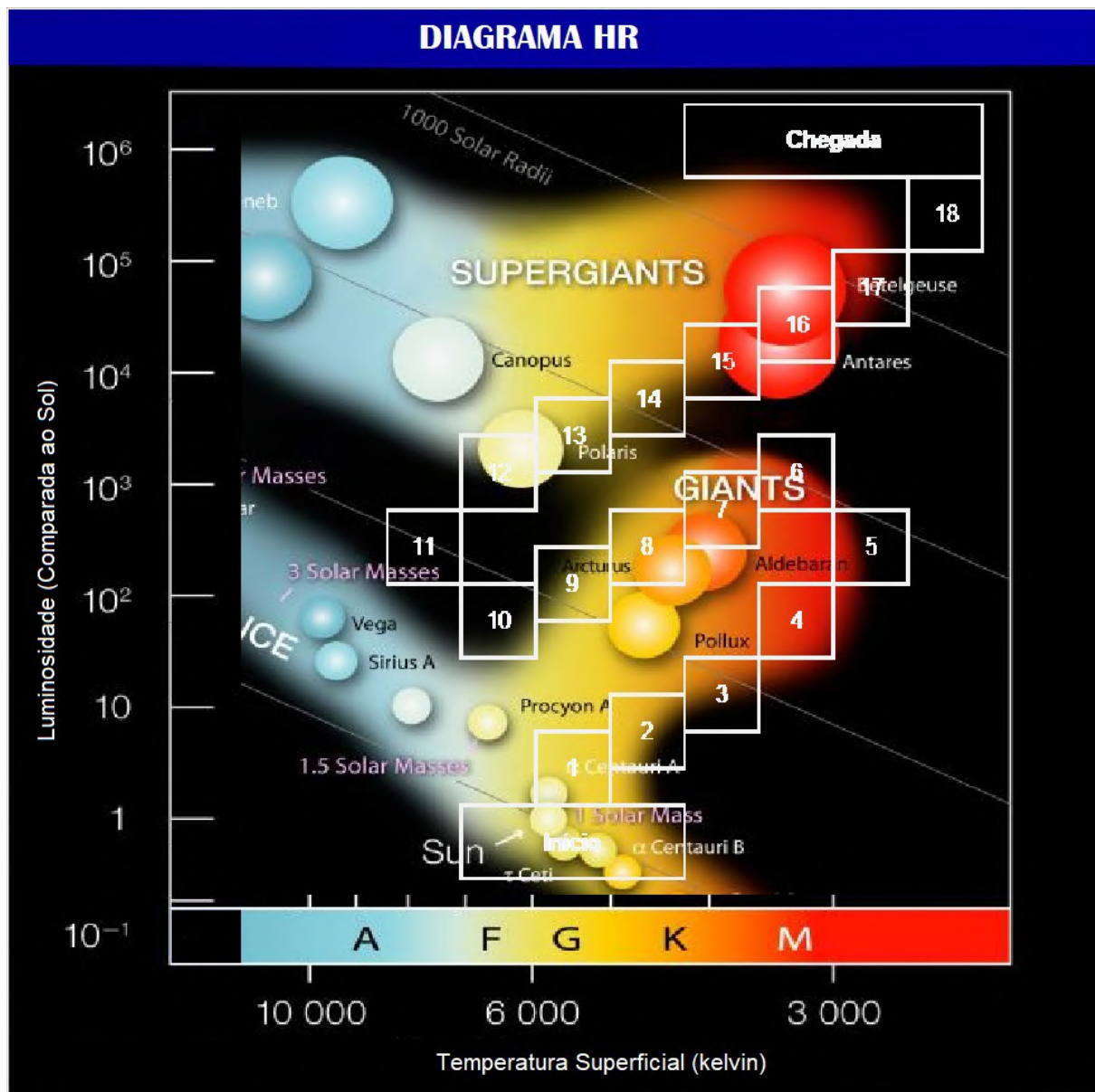


Figura A.1: Tabuleiro do jogo. Ao fundo do tabuleiro utilizou-se um corte do diagrama HR disponível em <https://www.quora.com/Why-is-the-sun-positioned-in-the-middle-of-the-Hertzsprung-Russell-Diagram?fbclid=IwAR2YH-CjNGcx6NW1aRnL95E-bn-nLve7sIczTnwURfZfOl-3J58jDDr0sE>

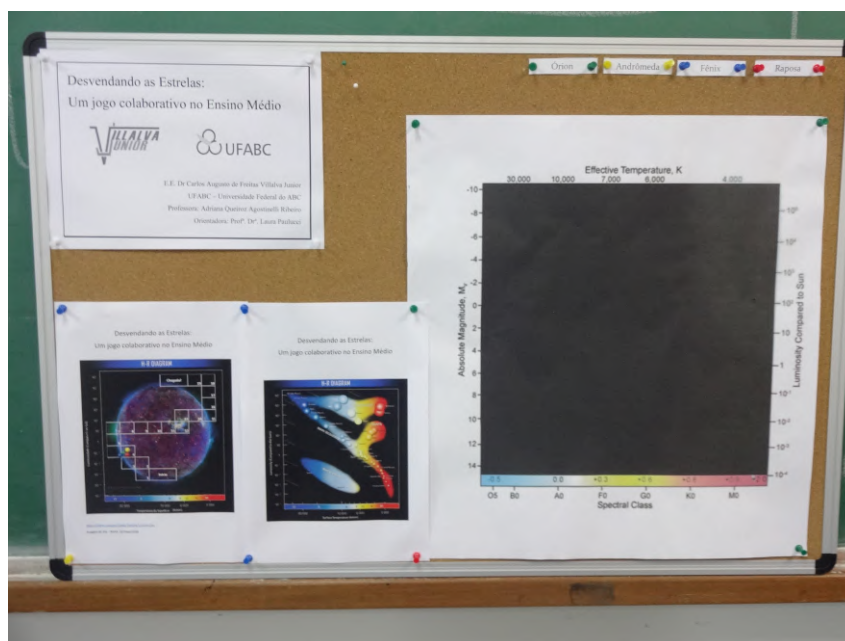


Figura A.2: Quadro com o tabuleiro e as informações sobre o jogo.

Peça aos alunos que se organizem em grupos de aproximadamente 5 alunos e escolham o nome do grupo, que deverá ser o nome de uma constelação. Aqui novamente se utiliza uma relação lúdica entre o agrupamento de alunos e de estrelas.

A análise qualitativa das atividades realizadas transforma-se em um certo número de casas a serem percorridas no tabuleiro pelo grupo correspondente. A pontuação do jogo ocorre seguindo a tabela A.1.

apenas realizou a dinâmica	1 casa
realizou a dinâmica e entregou apenas uma das tarefas	2 casas
realizou a dinâmica e entregou as duas tarefas com nível BOM	3 casas
realizou a dinâmica e entregou as duas tarefas com nível EXCELENTE	4 casas

Tabela A.1: Pontuação das tarefas realizadas pelos grupos em cada tema. Apresenta-se a relação entre a avaliação qualitativa das tarefas e o número de casas correspondentes a serem percorridas no tabuleiro.

Parte 2 - Introdução às Estrelas

Para introduzir o tema, apresente o vídeo intitulado “Estrelas”, com duração de 4 minutos e 25 segundos, parte integrante da série “ABC da Astronomia”, que está disponível sem restrições para fins educativos através da plataforma “TV Escola”, propriedade do Ministério da Educação.

O conteúdo do vídeo se resume a uma breve introdução sobre evolução estelar, comentando principalmente sobre o nascimento das estrelas, o processo de fusão nuclear sintetizando novos elementos químicos durante a maior parte da sua vida e a morte das estrelas. É importante salientar para os alunos que no processo de nascimento da estrela a partir da nuvem primordial, alguns elementos químicos presentes nesta passam a fazer parte da composição da estrela, não sendo todos os elementos químicos presentes sintetizados na mesma.

O vídeo pode ser acessado através do link <https://tvescola.org.br/tve/video/abc-da-astronomia-estrelas>.

Tarefa: Avaliação diagnóstica

Para a primeira aula, a tarefa a ser cumprida é a entrega da avaliação diagnóstica individual, tendo uma pontuação diferenciada, como mostrado na tabela A.2. A avaliação diagnóstica aplicada neste curso está no apêndice D deste trabalho.

1 avaliação diagnóstica entregue	1 casa
2 avaliações diagnósticas entregues	2 casas
3 avaliações diagnósticas entregues	3 casas
4 ou 5 avaliações diagnósticas entregues	4 casas

Tabela A.2: Pontuação da tarefa da aula introdutória. Apresenta-se a relação entre o número de avaliações entregues pelo grupo e a quantidade de casas a serem percorridas no tabuleiro.

Desta forma, o jogo inicia-se logo na primeira aula, antes mesmo do início das dinâmicas.

A.3 Tema 1: Brilho

A.3.1 Questão Norteadora

“Por que o Sol é uma estrela mais brilhante que as demais?”

A questão norteadora tem a pretensão de gerar uma discussão sobre a diferenciação entre a magnitude absoluta (que está relacionada com a luminosidade, parâmetro intrínseco da estrela, dependente apenas do seu raio e sua temperatura) e magnitude aparente (que depende da distância da estrela, além de sua magnitude absoluta). A escala de magnitudes foi estabelecida por Hiparco em 150 a.C. para classificar as estrelas quanto a seu brilho. As estrelas mais brilhantes a olho nu foram classificadas como sendo de magnitude 1 e as menos brilhantes, 6. No entanto, devido à queda do fluxo luminoso com a distância, este “brilho” visto a partir da Terra não é uma característica intrínseca da estrela. Assim, existe uma diferença entre magnitude **aparente** (m) e **absoluta** (M). Estas grandezas estão relacionadas entre si e com a distância ao observador (d) da seguinte forma:

$$m = M + 5 \log \frac{d}{10 \text{ pc}}$$

Para estudar em detalhes estes conceitos o professor pode utilizar Oliveira Filho e Saraiva (2004) e também Horvath (2013), que inclui uma proposta para o desenvolvimento do mesmo tema. O professor deve então, levar o aluno a relacionar a magnitude aparente com a luminosidade e a distância das estrelas à Terra e introduzir como estes valores são calculados. Além disso, é desejável nesta dinâmica que os alunos compreendam o ano-luz como unidade de distância e não tempo, como comumente é confundido.

Assim, apresente aos alunos a questão norteadora e peça a eles que discutam entre si e registrem as possíveis hipóteses sobre a questão.

A.3.2 Realização da Dinâmica

Descrição da Dinâmica:

A dinâmica consiste nos alunos medirem a intensidade luminosa de algumas lâmpadas a distâncias pré-determinadas, de 10 cm a 1 m, sempre coletando dados a cada 10 cm. Para tanto é necessário que se utilize um dos aplicativos de celular disponíveis para este fim.

Para aparelhos com sistema operacional Android, os aplicativos testados foram: “Lux Meter”, “Luxímetro” e “Physics Tools”, todos disponíveis gratuitamente para download através do aplicativo “Play Store”. Para aparelhos com sistema operacional IOS, foram testados dois aplicativos gratuitos: “Lux Light Meter Pro” e “Lux Light Meter FREE”, ambos disponíveis no aplicativo “App Store”.

Todos os aplicativos testados possuem funcionamento e medições similares. Não foi analisada a precisão das medições, já que isto é irrelevante para os objetivos da dinâmica.

O objetivo da dinâmica é que os alunos percebam a relação de decaimento da intensidade luminosa em função da distância como uma relação não-linear. É importante destacar que a mera observação do brilho / magnitude aparente da estrela não é parâmetro suficiente para estimar sua magnitude absoluta. As estrelas não podem ser comparadas quanto a suas características intrínsecas com base apenas na magnitude aparente já que é necessário avaliar a distância de cada estrela à Terra.

No diagrama HR, a magnitude absoluta das estrelas é mostrada no eixo das ordenadas.

Montagem do experimento:

A montagem do experimento (figura A.3) é realizada utilizando os seguintes materiais:

- Lâmpada
- Soquete com adaptador de tomada
- Régua de energia
- Régua de 1 m
- Celular com aplicativo para medir a intensidade luminosa

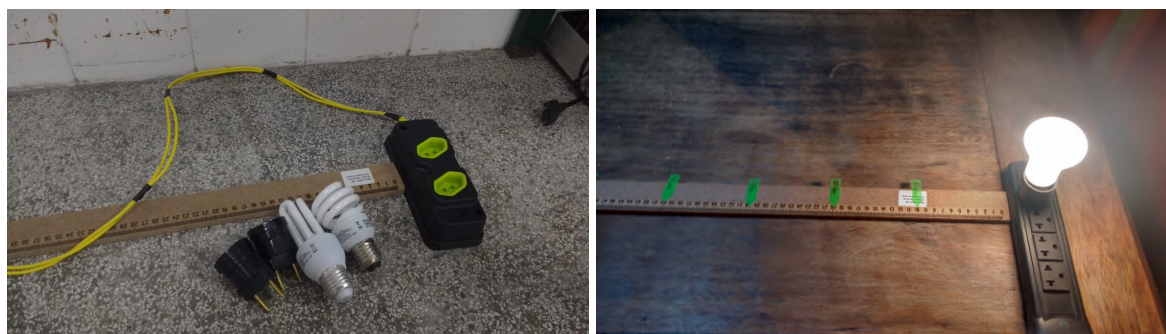


Figura A.3: Montagem do experimento da dinâmica 1.

Coleta de Dados:

A leitura nos aplicativos utilizados é feita conforme os exemplos das telas da figura A.4.

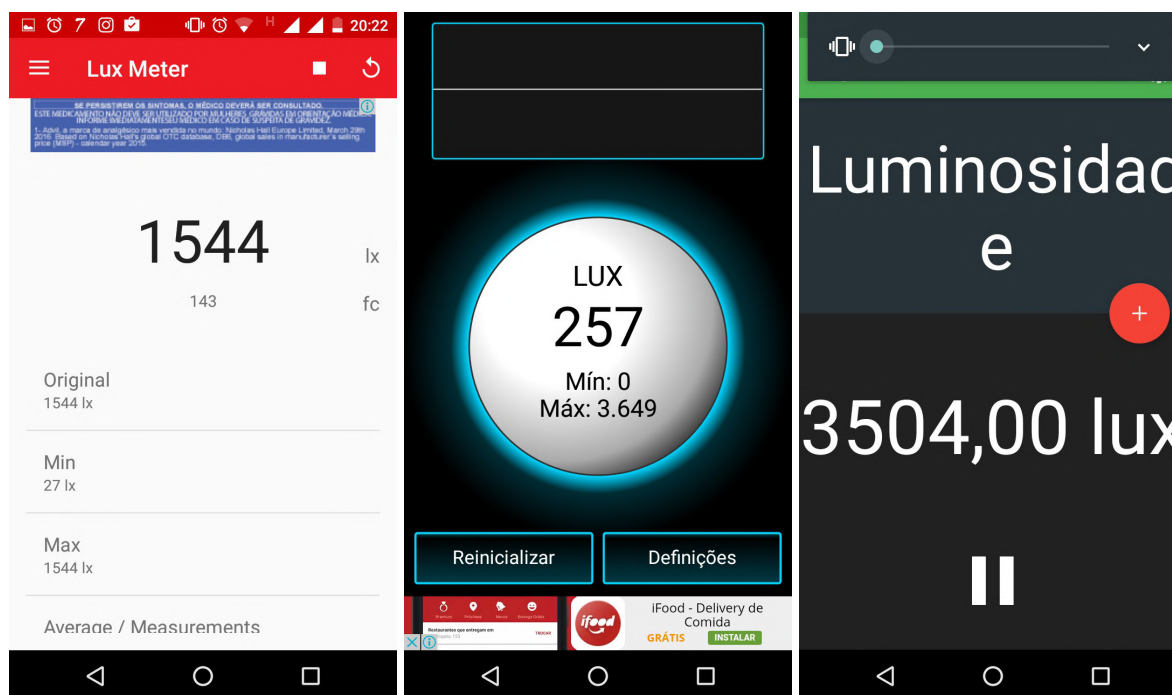


Figura A.4: Exemplos de aplicativos utilizados na dinâmica 1.

É importante salientar que na maioria dos aplicativos a leitura da intensidade luminosa é feita com a câmera frontal do aparelho celular, e que isto deve ser verificado para uma correta leitura dos valores. Em alguns aplicativos, no entanto, há a possibilidade de escolher a câmera a ser utilizada.

Lâmpada 1 - Potência: _____		Lâmpada 2 - Potência: _____	
Distância (cm)	Intensidade (lux)	Distância (cm)	Intensidade (lux)
10		10	
20		20	
30		30	
40		40	
50		50	
60		60	
70		70	
80		80	
90		90	
100		100	

Tabela A.3: Tabela para coleta de dados - tema 01.

Os alunos devem coletar os dados a fim de preencher a tabela A.3, com os valores de intensidade luminosa em função da distância para cada uma das lâmpadas recebidas, de potências diferentes. Solicite também que os alunos encontrem valores próximos de intensidade luminosa para ambas as lâmpadas e anotem as distâncias correspondentes. Isso permitirá verificar que lâmpadas de potências diferentes podem ter aparentemente o mesmo "brilho" a depender das distâncias ao observador, de forma semelhante à magnitude aparente das estrelas.

Após a coleta dos dados, os alunos deverão cumprir a tarefa inicial. Oriente-os a montar os gráficos de intensidade luminosa em função da distância para cada uma das lâmpadas, e discutir entre os integrantes dos grupos qual a possível relação existente entre a questão norteadora e a dinâmica realizada.

A.3.3 Conclusões

Sistematização do Conhecimento

Neste momento o professor deverá sistematizar com os alunos o conhecimento pertinente a

este tema.

Apresente a diferença entre magnitudes aparente e absoluta. Espera-se que com a dinâmica os alunos compreendam facilmente a relação entre a distância da estrela, luminosidade e o brilho aparente, relacionando estas grandezas como se apresentam na lâmpada e na estrela, ou seja, a potência da lâmpada como uma propriedade intrínseca da mesma assim como a luminosidade para a estrela e o brilho aparente da lâmpada que, de modo semelhante ao brilho aparente da estrela, diminui conforme há um aumento da distância ao observador. É interessante então, explicar sobre a diminuição do fluxo de energia com o aumento da distância à estrela.

Discuta com os alunos sobre as unidades de medidas utilizadas em astronomia: unidade astronômica (UA), parsec e ano-luz. Antes, é conveniente que os alunos compreendam minimamente o que é paralaxe, já que este conceito é necessário para a definição da unidade de medida parsec, que será utilizada na dinâmica final. A paralaxe é a mudança na posição *aparente* das estrelas com diferentes posições do observador. Este método pode ser utilizado para determinar a distância de estrelas próximas (com distâncias máximas de até 1000 pc, pertencentes à Via Láctea). Estes conceitos podem ser consultados no capítulo 18 de Oliveira Filho & Saraiva (2004). Faça uma comparação entre as unidades de medida e calcule o ano-luz em uma unidade de medida mais conhecida pelos alunos.

Utilize o vídeo “Ano-luz”, mais um vídeo integrante da série “ABC da Astronomia”, que está disponível sem restrições para fins educativos através da plataforma “TV Escola”, propriedade do Ministério da Educação. Este vídeo tem duração de 4 minutos e 51 segundos e pode ser acessado através do link <https://tvescola.org.br/tve/video/abc-da-astronomia-ano-luz>.

Finalize apresentando a distância de algumas estrelas próximas, comparando com a distância da Terra ao Sol.

Tarefa Final

Os alunos devem reunir-se para finalizar o tema. Deseja-se que consigam responder às seguintes questões pertinentes da tarefa final:

- Qual a diferença entre magnitude aparente e magnitude absoluta?
- Explique como a dinâmica realizada está relacionada à questão apresentada.

- O Sol é uma estrela mais brilhante que as demais? Explique.
- O que é um ano-luz?

O professor deverá avaliar qualitativamente as respostas apresentadas para estas questões, para que na próxima aula os grupos possam avançar no tabuleiro.

A.4 Tema 2 - Energia

A.4.1 Questão Norteadora

“Qual a origem da energia produzida nas estrelas?”

É sabido por todos que o Sol é a nossa maior fonte energética. É também do conhecimento mínimo dos alunos que a estrela tem luz própria. A questão norteadora do segundo tema vem, portanto, trazendo a questão da energia, colocando em pauta não a sua existência, mas a sua origem. Deseja-se que os alunos compreendam os processos geradores de energia, ao mesmo tempo que relacionem esses processos à síntese de elementos químicos que ocorre nas estrelas.

Assim, apresente aos alunos a questão norteadora e peça a eles que discutam entre si e registrem as possíveis hipóteses sobre a questão.

A.4.2 Realização da Dinâmica

Descrição da Dinâmica:

Para a realização da segunda dinâmica será necessário inicialmente informar aos alunos que a geração de energia e a síntese de elementos químicos estão relacionadas. A dinâmica consiste em que os alunos tentem construir um núcleo de hélio a partir de núcleos menores como o deutério e discutir a conservação de massa e carga elétrica.

A estrela, ao longo de sua vida, passa por diferentes estágios em que diferentes elementos são sintetizados em seu interior. O primeiro estágio, no qual a estrela passa a maior parte de sua vida, é chamado sequência principal, no qual a estrela transforma hidrogênio em hélio em seu

núcleo. Uma descrição detalhada dos processos de fusão que ocorrem no interior das estrelas pode ser encontrada em Chung (2001) ou em Oliveira Filho e Saraiva (2004), no capítulo sobre Estrelas.

Montagem da dinâmica:

Para esta dinâmica é necessário apenas que os alunos recebam fichas impressas dos núcleos atômicos e partículas envolvidos nos processos de síntese dos elementos. Em cada ficha há o símbolo do núcleo atômico ou partícula com sua respectiva massa, medida em MeV.

De posse das fichas, a tarefa inicial dos grupos será: "A partir de partículas menores, como núcleos de hidrogênio, como podemos construir um átomo de hélio?", ou ainda "Como podemos obter um núcleo de hélio 4 a partir de 4 prótons?".

<p>p</p> <p>1 próton</p> <p>940,19 MeV</p>	<p>d</p> <p>1 próton</p> <p>1 nêutron</p> <p>1878,93 MeV</p>	<p>³He</p> <p>2 prótons</p> <p>1 nêutron</p> <p>2813,64 MeV</p>	<p>⁴He</p> <p>2 prótons</p> <p>2 nêutrons</p> <p>3733,98 MeV</p>	<p>⁷Li</p> <p>3 prótons</p> <p>4 nêutrons</p> <p>6545,14 MeV</p>
<p>⁷Be</p> <p>4 prótons</p> <p>3 nêutrons</p> <p>6546,01 MeV</p>	<p>⁸Be</p> <p>4 prótons</p> <p>4 nêutrons</p> <p>7468,05 MeV</p>	<p>⁸B</p> <p>5 prótons</p> <p>3 nêutrons</p> <p>7486,06 MeV</p>	<p>e⁺</p> <p>0,51 MeV</p>	<p>e⁻</p> <p>0,51 MeV</p>

Figura A.5: Fichas utilizadas na dinâmica 2 com as informações sobre os núcleos atômicos ou partículas.

É importante observar que, dificilmente, os alunos conseguirão montar a equação corretamente, mesmo se considerarmos apenas a cadeia PPI, já que tentarão manter a conservação de massa, que não se verifica na reação, além de não considerarem óbvio a produção de um

pósitron e um neutrino. Assim, é importante orientar os alunos a registrarem suas tentativas e escolherem entre elas quais consideram a melhor opção.

A.4.3 Conclusões

Sistematização do Conhecimento

Neste momento o professor deverá sistematizar com os alunos o conhecimento pertinente a este tema. Apresente em detalhes a cadeia PPI. É importante que os alunos entendam a complexidade das reações, com a liberação dos neutrinos e principalmente a produção de energia decorrente da diferença de massa durante as reações.

Para que os alunos compreendam a síntese do hélio, convém apresentar-lhes também as cadeias PPII, PPIII e ciclo CNO. Também é interessante mostrar outras reações de síntese que podem ocorrer em estrelas massivas, como o processo triplo-alfa para a produção de carbono e a produção de elementos mais pesados até o ferro.

Tarefa Final

Os alunos devem reunir-se para finalizar o tema, e se deseja que consigam responder às seguintes questões pertinentes da tarefa final:

- Como é produzida a energia nas estrelas? Explique.
- Como ocorre a síntese dos elementos químicos que podem ser gerados na estrela?

O professor deverá avaliar qualitativamente as respostas apresentadas para estas questões, para que na próxima aula os grupos possam avançar no tabuleiro.

A.5 Tema 3 - Espectroscopia

A.5.1 Questão Norteadora

“Como sabemos qual o elemento químico que existe na estrela?”

Durante a discussão do segundo tema afirmamos que nas estrelas há gás hidrogênio, que durante o processo de fusão é convertido em hélio, e que também outros elementos são sintetizados na estrela a depender de sua massa e de seu estágio evolutivo. Além disso, alguns elementos estão na composição da estrela pois estavam presentes na nuvem primordial que a originou. Contudo, uma pergunta recorrente dos alunos é como podemos verificar a existência destes elementos na estrela.

Assim, o tema vem com o objetivo de que os alunos compreendam que a análise da luz emitida na atmosfera estelar nos permite conhecer algumas características da estrela. Também para entender como ocorre o fenômeno de emissão de luz pelos átomos e porque é possível identificar o átomo do elemento químico que produziu a luz. Informações relevantes relacionadas a este tema podem ser consultadas em Oliveira Filho e Saraiva (2004), capítulo 21 ou Halliday, Resnick e Walker (1996), v. 4, no capítulo sobre Física Quântica, ou ainda em Chesman, André e Macedo (2004).

Assim, apresente aos alunos a questão norteadora e peça a eles que discutam entre si e registrem as possíveis hipóteses sobre a questão.

A.5.2 Realização da Dinâmica

Descrição da Dinâmica:

A dinâmica consiste na observação, com um espectroscópio simples, do espectro formado pela luz emitida por diversas lâmpadas diferentes. O objetivo da dinâmica é que os alunos compreendam o espectro emitido ou absorvido por um elemento químico como característica única e identificadora do elemento químico que o emitiu ou absorveu.

Montagem da dinâmica:

A montagem do experimento é realizada utilizando os seguintes materiais:

- Lâmpada incandescente
- Lâmpada fluorescente

- Lâmpada de led
- Lâmpada de luz negra
- Lâmpada de vapor de sódio
- Lâmpada de vapor de mercúrio
- Reator para as lâmpadas de vapor de mercúrio e sódio
- Soquete com adaptador de tomada
- Régua de energia
- Espectroscópio simples

O espectroscópio pode ser confeccionado pelos alunos ou preparado previamente pelo professor, dependendo do interesse ou disponibilidade de tempo. O procedimento para a montagem do espectroscópio simples está disponível no Banco Internacional de Objetos Educacionais, sob o título “Espectroscopia - Astrônomo Mirim”, de domínio público, através do link: <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/10516>, onde consta um roteiro educacional similar ao recurso aqui proposto.



Figura A.6: Material utilizado na dinâmica de espectroscopia.

Na montagem deste experimento é importante ter o cuidado de observar as tensões necessárias para o funcionamento das lâmpadas. As lâmpadas de vapor de mercúrio e de vapor de sódio funcionam apenas para 220V e necessitam de reator para acendimento.

Com o auxílio dos espectroscópios, os alunos devem observar o espectro das diferentes lâmpadas a que tiveram acesso. A tarefa inicial consiste na reprodução, utilizando lápis de cor, ainda que de modo rudimentar, do espectro de algumas lâmpadas observadas. A finalidade é que os alunos identifiquem a existência de diferenças entre os espectros observados.

A.5.3 Conclusões

Sistematização do Conhecimento

A sistematização do conhecimento inicia-se com a definição de luz como onda eletromagnética, passa pelo entendimento do arco-íris como a decomposição da luz e tem seu ápice no entendimento de como a luz é produzida, ou seja da emissão de um fóton por um átomo excitado que retorna ao seu estado fundamental. Se os alunos do curso pertencerem ao 1º ou 2º ano do ensino médio, é provável que eles ainda não tenham conhecimento destes conceitos, sendo necessário fazer uma explanação geral sobre o assunto.

É importante salientar nesta explanação que a estrutura atômica é que definirá a energia do fóton emitido por cada elétron em sua transição de camada, e portanto, átomos de mesmo elementos químicos e, conseqüentemente, mesma estrutura atômica, emitirão fótons idênticos, quando submetidos às mesmas condições físicas. O contrário ocorre para átomos de elementos químicos diferentes.

É importante salientar que a temperatura da estrela pode influenciar neste processo. Se tomarmos o átomo de hidrogênio como exemplo, em estrelas de baixa temperatura os fótons presentes não possuem energia suficiente para excitar o átomo. Em contrapartida, em estrelas de altas temperaturas (acima de 10000K), o átomo de hidrogênio estará ionizado, apresentando-se na forma H^+ , ou seja, sem elétrons em sua eletrosfera, e portanto não poderá emitir fóton a partir da mudança de camada do elétron. Assim sendo, as linhas de emissão do átomo de hidrogênio não aparecem em todas as estrelas que possuem este elemento químico, pois dependem da temperatura da estrela, sendo mais evidentes nas estrelas cujas temperaturas são em torno de 9000K.

É interessante que os alunos possam observar a diferença entre o espectro de emissão contínuo e discreto, como no caso da lâmpada incandescente e de mercúrio. Deve-se desta-

car também que o espectro de absorção, apesar de não ser acessível nesta dinâmica, apresenta linhas coincidentes com o espectro de emissão de um dado elemento.

Também se pode destacar que a observação do espectro estelar, além de revelar os elementos presentes em sua atmosfera, costuma ser utilizado para a sua classificação no diagrama HR, pois o perfil das linhas espectrais pode indicar a classe de luminosidade, dependendo da gravidade superficial, indicando se trata-se de uma anã ou gigante. A classe espectral depende da temperatura, que pode ser obtida por fotometria. Mais informações sobre a classificação espectral de estrelas podem ser obtidas em Oliveira Filho e Saraiva (2004) e, em Chung (2000).

Tarefa Final

Para a tarefa final os alunos devem receber o espectro de emissão de vários elementos e também o espectro de emissão de algumas estrelas, para compará-los. Deseja-se que os alunos tentem, para cada estrela recebida, identificar alguns elementos presentes na estrela, lembrando que em cada espectro recebido há, pelo menos, três elementos químicos diferentes.

Os espectros dos elementos e os espectros das estrelas também estão disponíveis, juntamente com a montagem do espectroscópio, no projeto “Espectroscopia - Astrônomo Mirim”, através do link: <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/10516>.

Para finalizar o tema, os alunos devem reunir-se para responder às seguintes questões pertinentes da tarefa final:

- Como um átomo emite luz?
- Como identificamos os elementos químicos presentes na estrela?

O professor deverá avaliar qualitativamente as respostas apresentadas para estas questões, para que na próxima aula os grupos possam avançar no tabuleiro.

A.6 Tema 4 - Observação Virtual

A.6.1 Questão Norteadora

“Como classificar uma estrela através do diagrama HR?”

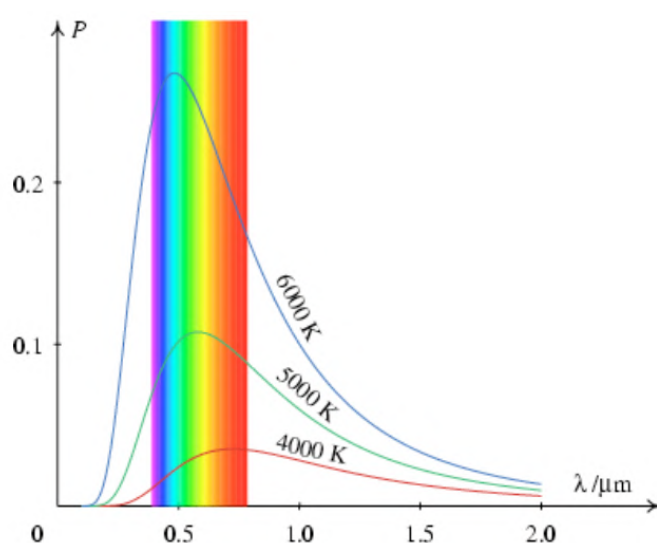


Figura A.7: Gráfico que mostra a relação entre o fluxo de emissão luminosa para diversos comprimentos de onda, por estrelas com temperaturas superficiais diferentes. Figura disponível em http://www.astro.iag.usp.br/~carciofi/aulas_aga0210/aula7.pdf

Segundo Oliveira Filho e Saraiva (2004), o diagrama HR foi descoberto independentemente por Ejnar Hertzsprung, em 1911 e por Henry Norris Russell, em 1923. Hertzsprung descobriu que estrelas de mesma cor poderiam ter luminosidades diferentes e Russell estendeu esse estudo graficando mais de 300 estrelas cuja paralaxe já era conhecida na época. Então, para estrelas cuja distância é conhecida, as grandezas envolvidas no diagrama HR, luminosidade e temperatura, são facilmente determinadas a partir de magnitude aparente e índice de cor, valores determinados a partir da observação da estrela.

A quantidade de luz proveniente de uma dada estrela pode ser observada com o uso de filtros, que permitem a passagem de luz em uma faixa estreita de frequências. Os filtros mais utilizados são os das bandas U (ultravioleta próximo, centrado em 365 nm), B (azul, centrado em 440 nm) e V (visível, centrado em 550 nm). As diferenças entre magnitudes nestes filtros são chamadas índice de cor. A quantidade de energia emitida pela estrela em cada filtro está relacionada a sua temperatura, como pode ser visto na figura A.7.

Sendo o diagrama HR uma importante ferramenta de classificação das estrelas, entendeu-se necessário que uma atividade introdutória a este tema deveria dedicar-se também a compreender a leitura deste diagrama, assim como as grandezas envolvidas nesta classificação.

Assim, o objetivo desta dinâmica é que os alunos possam fazer a observação remota vir-

tual das estrelas para encontrar seus valores de magnitude e então, de posse destes dados e de outros calculados a partir destes, encontrar a localização de uma dada estrela no diagrama, completando assim um ciclo observação-classificação.

Faça uma explanação sobre a organização do diagrama HR, como as características da estrela relacionam-se a sua localização neste diagrama, assim como sua importância no meio científico. Pode-se consultar Oliveira Filho e Saraiva (2004), capítulos 22 e 20, para uma melhor compreensão do diagrama HR e do índice de cor.

A.6.2 Realização da Dinâmica

Descrição da Dinâmica:

A dinâmica final consiste na observação remota (virtual) das estrelas, de modo que os alunos obtenham dados a respeito da mesma que possibilitem sua posterior localização no Diagrama HR. Para tanto, os alunos de posse dos dados coletados devem calcular outros parâmetros da estrela.

Montagem da dinâmica:

Para esta dinâmica é necessário que cada grupo tenha acesso a, pelo menos, um computador. Em cada computador deve ser instalado o VIREO, “The Virtual Educational Observatory”, um recurso educacional de laboratório para astronomia, que está interligado a um enorme banco de dados astronômicos.

O *download* do programa, assim como de seu manual de instruções, pode ser feito de forma gratuita através do link para este fim, disponível em: <http://www3.gettysburg.edu/marschal/clea/Vireo.html>

Observa-se, no entanto, que o software, assim como todo o material, está em inglês e só pode ser instalado em computadores com sistema operacional Windows. Apesar de não necessitar do domínio avançado da língua, os alunos podem apresentar alguma dificuldade. Convém então, que o professor interesse-se dos termos utilizados no software.

Inicialmente os grupos deverão ter acesso ao software e se familiarizarem com ele.

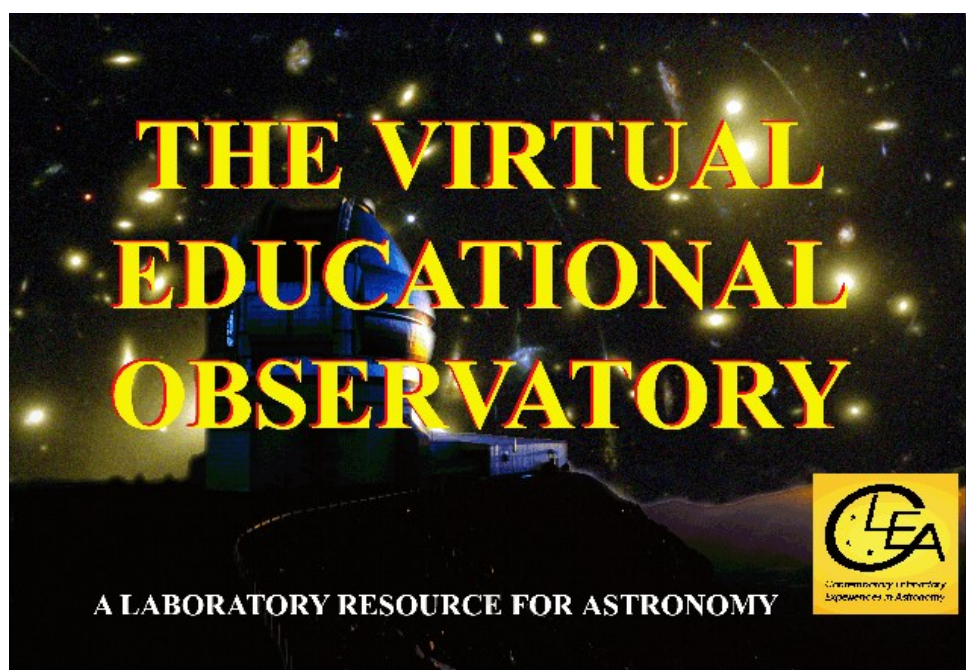


Figura A.8: Tela inicial do software VIREO.

Para esta dinâmica está disponível uma tabela com uma lista de estrelas e informações complementares de cada uma delas, como coordenadas, paralaxe e distância, no Apêndice C deste trabalho: “Tabela de Estrelas”. Cada grupo recebeu uma relação com algumas estrelas pertencentes à tabela, para observação e coleta de dados.

Caso se consiga fazer corretamente a observação de todas as estrelas presentes nesta tabela, o diagrama HR resultante, no formato magnitude absoluta na banda V como função do índice de cor (B-V), é apresentado na figura A.9.

Coleta de Dados:

A coleta de dados a ser feita, para cada estrela, consiste primeiramente nas medições das emissões de fundo do céu, ou seja, intensidade luminosa que chega ao telescópio, provenientes de outras fontes, além daquela que se deseja medir as magnitudes, e então, posterior medição das magnitudes da própria estrela para os filtros U, B e V, respectivamente.

No Apêndice B deste trabalho segue um manual simplificado para o uso do VIREO, incluindo apenas as etapas necessárias para a atividade desenvolvida nesta dinâmica.

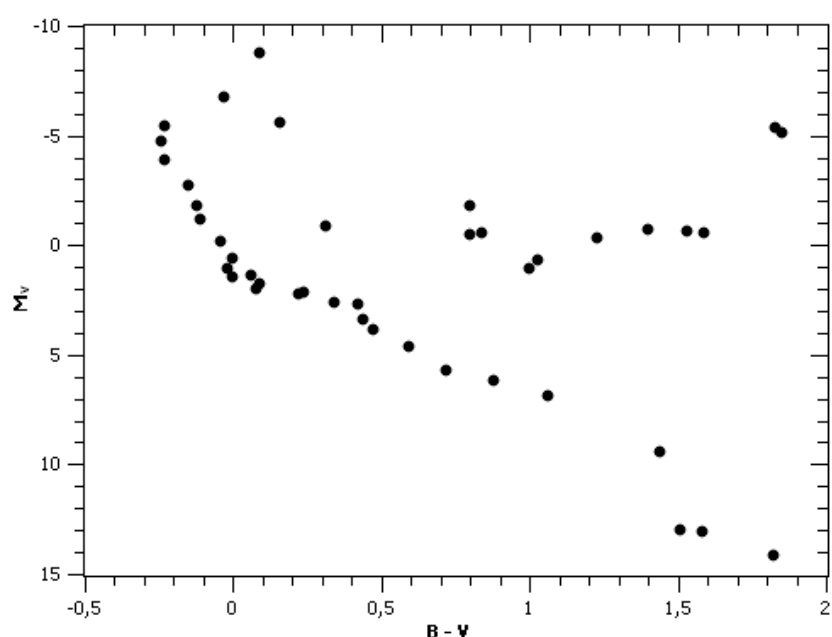


Figura A.9: Diagrama HR construído com os dados obtidos através do Vireo para todas as estrelas listadas no apêndice C.

A.6.3 Conclusões

Sistematização do Conhecimento

Apresente aos alunos o cálculo do índice de cor e também da temperatura da estrela a partir dos valores de magnitudes coletados.

É muito importante que os alunos percebam que a magnitude absoluta é função da magnitude observada e da distância da estrela, e também que a temperatura é função do índice de cor, que por sua vez é função das magnitudes B e V coletadas. Utilizaremos o índice de cor B-V, ou seja, a razão entre os fluxos nas bandas B e V, ou equivalentemente, como a diferença entre as respectivas magnitudes.

Assim, deve-se concluir com os alunos que a simples observação das magnitudes da estrela em diferentes filtros pode gerar outras informações sobre a mesma.

Tarefa Final

Como tarefa final desta dinâmica os alunos devem primeiramente calcular o índice de cor, temperatura da estrela e magnitude absoluta, como segue:

O índice de cor é dado pela diferença entre as magnitudes coletadas para os filtros B e V.

É interessante aproveitar este momento para discutir com os alunos a noção do cálculo da temperatura da estrela, que pode ser realizado em função do índice de cor B-V, utilizando, segundo Battat (2005), a seguinte relação matemática:

$$T_{(K)} = \frac{8540}{0,865 + (B - V)}$$

onde T é a temperatura da estrela e (B-V) é o índice de cor.

Ainda segundo Battat (2005), esta relação matemática é obtida de forma empírica e é derivada da relação entre índice de cor e temperatura de um corpo negro, que sofre alterações devido ao fato da estrela não ser um corpo negro ideal.

Para maior detalhamento da Radiação de Corpo Negro, consulte Eisberg e Resnick (1979).

Para o cálculo da magnitude absoluta da estrela na banda V (M_V), usaremos:

$$M_V = V - 5 \log \frac{1}{10 p''}$$

onde V é o valor de magnitude aparente coletado no VIREO para a banda V e p é a paralaxe da estrela (em segundos de arco), que consta entre os dados recebidos pelos alunos.

Assim, após estes cálculos, os alunos possuem os parâmetros necessários para encontrar a localização da estrela no Diagrama H-R. Então os alunos devem marcar a estrela no mesmo diagrama HR fornecido pelo professor utilizando a cor adequada para uma dada região do diagrama, que está indicada em sua parte inferior (ver figura A.10). Note que o eixo das ordenadas é invertido.

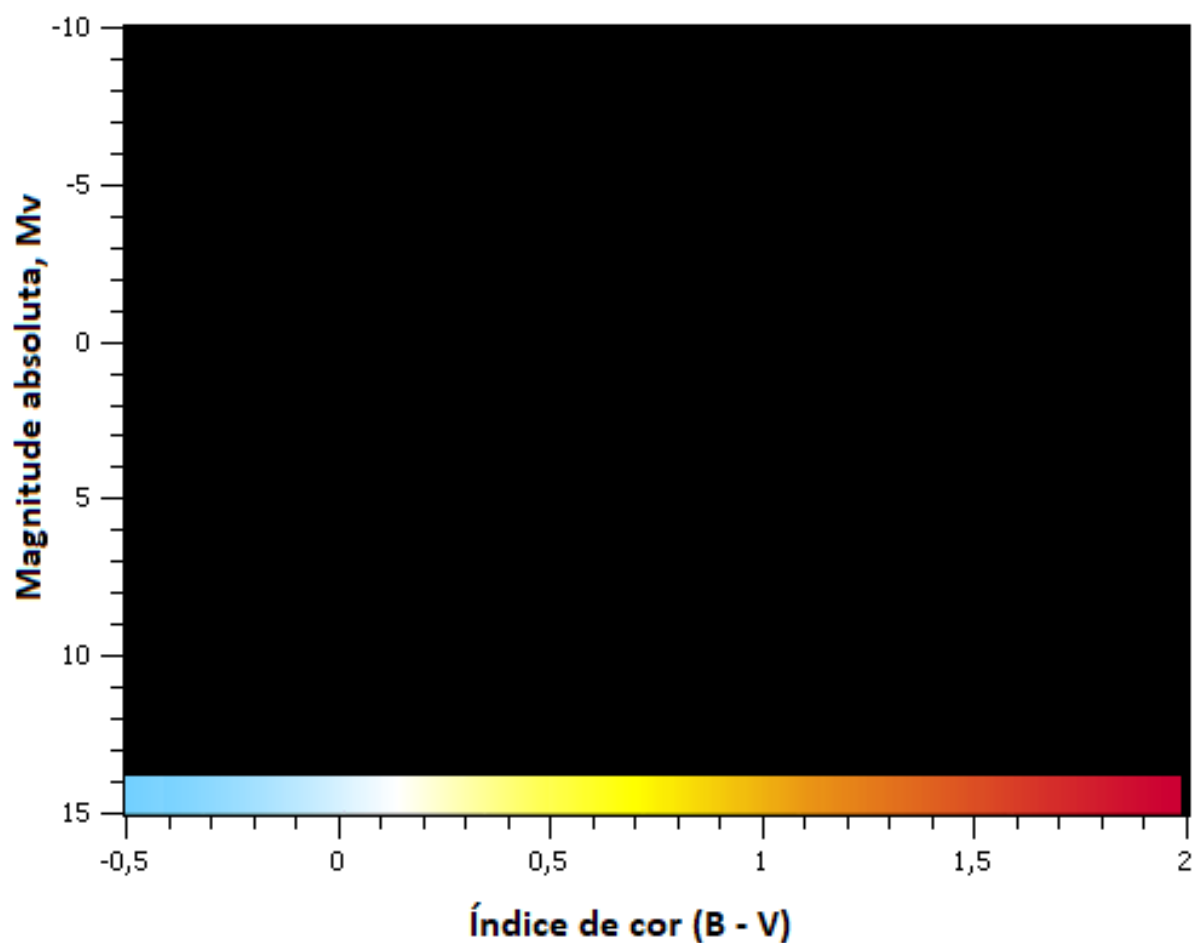


Figura A.10: Diagrama HR com fundo negro para ser utilizado na dinâmica referente ao tema 4 - Observação.

Uma forma de dar destaque ao trabalho final, é utilizar etiquetas coloridas auto-adesivas redondas sobre um fundo negro (no caso, foram utilizadas etiquetas de raio 12 mm).

Para posterior conferência, foi solicitado aos alunos que escrevessem na etiqueta o código da estrela, que constava na tabela recebida no início da dinâmica.

Ao final da dinâmica o professor deve conferir as posições das etiquetas de cada grupo para decidir o número de casas a ser avançadas no tabuleiro.

A.7 Finalização do Jogo

Após a tarefa da última dinâmica, o professor deve finalizar o jogo. Conforme o que foi combinado, o jogo tem caráter colaborativo e não competitivo, portanto deseja-se que todas as

equipes estejam em ótimo nível. É interessante que o professor prepare algum tipo de premiação simbólica para finalizar o processo de gamificação.

Para fins de jogo, as atividades desenvolvidas em grupo não foram utilizadas de forma quantitativa, mas, a critério do professor, podem ser utilizadas como parte de uma avaliação global do aluno.

A.8 Avaliação Final

Finalizado o jogo os alunos foram solicitados a responder um questionário sobre alguns conceitos trabalhados durante a sequência didática, chamado de Avaliação Final, e que se encontra na íntegra no apêndice E.

A avaliação elaborada pode ser utilizada como avaliação individual dos alunos.

Referências bibliográficas do produto

[Battat, James 2005] Battat, James. *Working with Magnitudes and Color Indices*, 2005 (<https://www.cfa.harvard.edu/~dfabricant/huchra/ay145/magnitudes.pdf>)

[Chesman, André e Macedo 2004] Chesman, Carlos; André, Carlos; Macêdo, Augusto. *Física Moderna: experimental e aplicada*. 2ª, São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004

[Chung 2000] Chung, K.C.. *Vamos falar de estrelas?*, Rio de Janeiro: EdUERJ, 2000.

[Chung 2001] Chung, K.C.. *Introdução à Física Nuclear*, Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001. p. 257-267

[Eisberg, Resnick 1979] Eisberg, Robert; Resnick, Robert. *Física Quântica*, tradução de Paulo Costa Ribeiro, Ênio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1979. p. 17-42

[Halliday, Resnick e Walker 1996] Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. *Fundamentos da Física: óptica e física moderna*. Tradução de Gerson Bazo Costamilan, 4ª edição brasileira, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1996

[Horvath 2013] Horvath 2013 Horvath, J.E. *Uma proposta para o ensino de astronomia e astrofísica estelares no Ensino Médio*, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 4, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n4/a12v35n4.pdf>. Visitada em 07/01/2019.

[Oliveira Filho, Saraiva 2004] Oliveira Filho, Kepler de Souza, Saraiva, Maria de Fátima Oliveira, *Astronomia & Astrofísica*, 2ª edição, São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004

Apêndice B

Manual VIREO - atividade desenvolvida

Início

Ao acessar o software VIREO (Virtual Education Observatory), na tela inicial utilize os comandos *File>Login* e digite os nomes dos integrantes do grupo. Ao finalizar será aberta a tela do Observatório Educacional Virtual (The Virtual Educational Observatory).

Nesta tela, selecionar a atividade a ser desenvolvida através dos comandos: *File>Run Exercise>“HR Diagrams of Star Clusters”*. Será aberta a tela para a atividade.

Acesso ao Telescópio

Escolha o telescópio através dos comandos *Telescopes>Optical>Access 0.4 Meter*. Haverá uma mensagem confirmando o seu acesso e na tela aparecerá o interior do domo do observatório.

Para abri-lo, utilize o botão *On/Off*. Para ter acesso ao Painel de Controle do Telescópio, selecione o botão correspondente, que está na posição *Off*.

Será aberto o Painel de Controle, e a visão do céu em uma única tela. Acione o botão *Tracking* para o rastreamento das estrelas e assim obter uma visão fixa das mesmas (ou seja, o movimento do telescópio passa a acompanhar o das estrelas).

Busca das Estrelas

Selecione os comandos *Slew>Set Coordinates*. Será aberta uma tela onde se deve informar os valores de Ascensão Reta e Declinação da estrela. Clicar em OK. Será aberta uma nova tela

solicitando a confirmação das coordenadas digitadas e então o apontamento do telescópio busca a estrela. Aguarde até que a estrela esteja posicionada no quadrado vermelho, no centro da tela. Para observá-la melhor, mude a opção *View* para a posição “Telescope”, à direita da tela.

Coleta de Dados

Certifique-se que para a opção *Instrument* esteja selecionado “*Photometer*”. Aparecerá um círculo vermelho no centro da tela, indicando a abertura do fotômetro.

Utilize o botão *Access*, na parte inferior da opção *Instrument* para abrir a tela de controle do fotômetro.

Para medir a contaminação de fundo, que também chega ao fotômetro e que deverá ser “descontada” da emissão total, deve-se colocar na posição “*Sky*” a opção *Reading* e utilizar os botões *N*, *E*, *S* e *W*, para mover a abertura do fotômetro para uma região totalmente escura. Deve-se, então, selecionar um dos filtros: *U*, *B* ou *V* e clicar em *Start*. Não é necessário anotar estes valores pois serão utilizados automaticamente pelo VIREO.

Repita essa última ação para os outros dois filtros.

Para medir a magnitude da estrela, deve-se colocar na posição “*Object*” a opção *Reading* e utilizar os botões *N*, *E*, *S* e *W*, para mover a abertura do fotômetro para a estrela. Selecione um dos filtros: *U*, *B* ou *V* e clique em *Start*. Após a medida, utilize os comandos: *File>Data>Record/Review*. Será aberta uma tela dos dados observados. Anote o valor da magnitude para o filtro medido e clique em OK para salvar estes dados.

Repita essa última ação para os outros dois filtros.

Repita as operações “Busca da Estrelas” e “Coleta de Dados” para todas as estrelas relacionadas.

Apêndice C

Tabela de Estrelas

Estrela	Ascensão Reta	Declinação	Paralaxe	U	V	B
Sirius A (α Cma A)	06 45 08.9	-16 51 28	0,37921			
Canopus (α Car)	06 23 57.1	-52 41 44	0,01043			
Arcturus (α Boo)	14 15 39.7	+19 10 57	0,08885			
Vega (α Lyr)	18 36 56.3	+38 47 01	0,12893			
Capella (α Aur)	05 16 41.4	+45 59 53	0,07729			
Rigel A (β Ori A)	14 39 36.5	-60 50 02	0,00422			
Procyon (α CMi)	07 39 18.1	+05 13 30	0,28593			
Betegeuse (α Ori)	05 55 10.3	+07 24 25	0,00763			
Archenar (α Eri)	01 37 42.8	-57 14 12	0,02268			
Hadar (β Cen)	14 03 49.4	-60 22 23	0,00621			
Altair (α Aql)	19 50 47.0	+08 52 06	0,19444			
Acrux (α Cru)	12 26 35.9	-63 05 57	0,01017			
Aldebaran (α Tau)	04 35 55.2	+16 30 33	0,05009			

Tabela C.1: Tabela 01 para coleta de dados - tema 04. Os valores de ascensão reta são dados em horas, minutos e segundos, enquanto que a declinação é dada em graus, minutos e segundos de arco. Ambos correspondem à época de referência J2000. A paralaxe é dada em segundos de arco.

Estrela	Ascensão Reta	Declinação	Paralaxe	U	V	B
Antares (α Sco)	16 29 24.5	-26 25 55	0,0054			
Pollux (β Gem)	07 45 18.9	+28 01 34	0,09674			
Deneb (α Cyg)	20 41 25.9	+45 16 49	0,00101			
Mimosa A (β Cru A)	12 47 43.3	-59 41 19	0,00925			
ϵ Eridani (ϵ Eri)	03 32 55.8	-09 27 30	0,31075			
γ Crucis (γ Cru)	12 31 09.9	-57 06 48	0,03683			
GX And	00 18 22.9	+44 01 23	0,28027			
ϵ Ind	22 03 21.7	-56 47 09	0,27576			
τ Cet	01 44 04.1	-15 56 15	0,27417			
G1 54.1	01 12 30.6	-16 59 56	0,26905			
Ross 614 (GL 234A)	06 29 23.4	-02 48 50	0,24289			
Celaeno	03 44 48.2	+24 17 22	0,00753			
Taygeta	03 45 12.5	+24 28 02	0,00797			
Asterope II	03 46 02.9	+24 31 41	0,00858			
Elektra	03 44 52.5	+24 06 48	0,00806			
π^1 -Ori (7-Ori)	04 54 53.5	+10 09 01	0,02921			
χ^1 -Ori (54-Ori)	05 54 22.8	+20 16 34	0,11312			
γ -Lep (13-Lep)	05 44 27.9	-22 26 50	0,11261			
ι -Ant	10 56 43.0	-22 26 50	0,01618			
α -Cir	14 42 30.2	-64 58 34	0,06294			
Q-Vel	10 14 43.9	-42 07 22	0.03270			
ϵ -Leo (17-Leo)	09 45 51.0	+23 46 27	0,01118			
Muscida (1-UMa)	08 30 15.7	+60 43 05	0,01653			
η -UMi (21-UMi)	16 17 30.0	+75 45 19	0,03387			
ι -Peg (24-Peg)	22 07 00.6	+25 20 42	0,08476			
Adhafera (ζ -Leo)	10 16 41.4	+23 25 02	0,01366			
Alula Borealis (ν -UMa)	11 18 28.7	+33 05 39	0,01425			
HIP 12961	02 46 42.5	-23 05 15	0.04345			

Tabela C.2: Continuação da tabela C.1.

Apêndice D

Avaliação Diagnóstica

1. O que é uma estrela?
2. Qual o formato de uma estrela? Desenhe.
3. O que é o Sol?
4. Qual a distância do Sol à Terra? A distância da Terra a outras estrelas é a mesma? Comente.
5. Como as estrelas produzem luz?
6. Por que durante o dia não vemos estrelas?
7. Por que algumas estrelas brilham mais que outras?
8. Do que é feita uma estrela?
9. Qual a cor de uma estrela?
10. Comente quais as suas curiosidades / dúvidas a respeito de estrelas.

Apêndice E

Avaliação Final

1. Como se forma uma estrela? O que é uma estrela?
2. Comente brevemente o que você aprendeu sobre o ciclo de vida das estrelas.
3. O que é um ano-luz?
4. Qual a distância do Sol à Terra? A distância da Terra a outras estrelas é a mesma? Comente.
5. Por que algumas estrelas aparentemente brilham mais que outras?
6. Por que é comum o comentário de que ao olharmos para o céu estamos vendo o passado?
7. Como as estrelas produzem energia? Explique.
8. Por que se diz que "somos feitos de poeira de estrelas"?
9. Como as estrelas produzem luz? Explique.
10. Qual o processo através do qual podemos saber qual elemento químico existe na estrela? Explique.