



Utilizando a câmera fotográfica digital como ferramenta para distinguir as cores das estrelas

.....

Guilherme F. Marranghello

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Pampa, Bagé, RS, Brasil
E-mail: gfmarranghello@gmail.com

Daniela B. Pavani

Departamento de Astronomia, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil
E-mail: dpavani@if.ufrgs.br

.....

A poluição luminosa das grandes cidades nos impede de admirarmos toda a beleza do céu noturno e percebermos, por exemplo, que as estrelas possuem cores distintas. À primeira vista todas as estrelas nos parecem pontos cintilantes esbranquiçados, mas sob olhar mais atento, longe das luzes artificiais, podemos identificar também tons azulados, avermelhados ou amarelados. A cor de uma estrela está relacionada à temperatura da sua camada mais externa, a fotosfera (temperatura superficial), que captamos a olho nú ou através de telescópios e binóculos. Através do estudo da luz que chega das estrelas, os astrônomos podem entender melhor sua formação e evolução, bem como das estruturas maiores formadas por elas, como aglomerados estelares e galáxias. A cor de uma estrela, então, nos dá informações sobre suas propriedades físicas. Assim podemos, sob um novo olhar, realizar atividades de observação noturna dos astros, explorando, além dos conceitos tradicionais de astronomia, como localização temporal e espacial, conceitos de física moderna associados às propriedades da luz trabalhando com a lei da radiação de Planck para o corpo negro.

Neste trabalho propomos o uso de uma máquina fotográfica digital para registrar imagens de duas constelações e, utilizando ferramentas gráficas simples, associar a cor das estrelas fotografadas à lei da radiação de Planck, estimando, de forma aproximada, a temperatura das estrelas que compõem tais constelações. Devemos deixar claro, neste momento do trabalho, que a estimativa da temperatura das estrelas é feita apenas de forma aproximada e não pretende-se determinar com exatidão este valor. O objetivo é discutir

como um tópico da astronomia - a relação entre cor e temperatura das estrelas - pode ser utilizado como tema gerador de tópicos de física moderna no Ensino Médio.

Diferentes povos em diferentes épocas utilizaram as estrelas e sua posição no céu para marcar a passagem do tempo, das estações do ano e para homenagear animais, heróis e deuses. Assim surgiram as constelações, conjuntos de estrelas que aparentam estar próximas entre si, mas que não necessariamente estão fisicamente relacionadas. Atualmente, a União Astronômica Internacional define 88 regiões do céu que distinguem as constelações. Uma vez que as constelações são reconhecidas como áreas do céu, estas são compostas não apenas pelas estrelas mais brilhantes, que formam uma figura imaginária, mas também por todos os objetos celestes contidos naquela região, incluindo uma quantidade gigantesca de estrelas que não são visíveis a olho nú, além de galáxias e nebulosas, por exemplo.

Escolhemos para explorarmos as constelações do Cruzeiro do Sul e do Escorpião, observando através de uma máquina digital fotográfica, a relação entre cor e temperatura nas estrelas. Nestas constelações encontramos estrelas azuis e vermelhas.

Além disso, a primeira delas é usualmente empregada para localização dos pontos cardeais, também compondo a bandeira nacional. A constelação do Cruzeiro do Sul ainda é especialmente útil porque sua

estrela mais brilhante, Acrux (ou Alpha Crux), pode ser vista durante todo ano nas latitudes próximas à de Porto Alegre. Nessas latitudes esta estrela, por estar sempre acima do horizonte, é denominada circumpolar. Na latitude de São Paulo, por exemplo, toda a constelação é visível na

À primeira vista todas as estrelas nos parecem pontos cintilantes esbranquiçados, mas sob olhar mais atento, longe das luzes artificiais, podemos identificar também tons azulados, avermelhados ou amarelados

Apresenta-se uma forma simples e divertida de identificar as diferentes cores das estrelas utilizando uma máquina fotográfica digital e as constelações do Cruzeiro do Sul e do Escorpião. Após fotografadas, é possível identificar as distintas cores destas estrelas e, utilizando um padrão de cores e temperaturas, estimar a temperatura aproximada de cada estrela. Através desta atividade o professor pode introduzir assuntos de física moderna e astronomia, como a lei da radiação de Planck para o corpo negro e o diagrama Hertzsprung-Russel.

primeira parte da noite (antes das 24 h) durante os meses de janeiro a julho. Já em Belém do Pará, isto ocorre no período de janeiro a junho. A constelação de Escorpião é visível, no hemisfério sul, durante todas as noites de junho, sendo assim uma constelação característica do inverno. Em especial, a constelação de Escorpião foi escolhida pela presença de Antares (o coração do Escorpião), que possui uma cor avermelhada.

Também vale a pena destacar que as estrelas que constituem as constelações do Cruzeiro do Sul e do Escorpião não estão necessariamente próximas uma das outras. O leitor pode encontrar mais detalhes sobre o Cruzeiro do Sul na Ref. [1], onde o autor representa a constelação em uma maquete construída em três dimensões, incluindo a distância das principais estrelas da constelação à Terra, tornando possível a visualização da estrutura de uma constelação.

As estrelas

As estrelas não são todas iguais: possuem diferentes tamanhos e massas e, em consequência disto, distintas temperaturas. No nosso cotidiano podemos pensar em quente e frio como sendo um quente dia de verão, 40 °C, ou um frio dia de inverno, próximo a 0 °C. Entretanto, quando falamos de estrelas, “frio” significa temperatura superficial da ordem de 2000 a 3000 K, umas 10 ou 15 vezes mais quente do que o forno de nossa casa. Nas camadas mais externas das estrelas estes valores podem chegar a 40.000 K. Assim, no que diz respeito às estrelas, mesmo com estas altíssimas temperaturas, podemos dizer que algumas são mais frias e outras mais quentes.

Estrelas de menor massa são relativamente mais frias e possuem cores avermelhadas. As de maior massa são mais quentes e azuladas. O Sol é uma estrela amarelada, de temperatura intermediária, próxima a 6000 K. Dizer que as estrelas vermelhas são mais frias que as azuis pode ir contra nossa intuição, mas não é somente nas estrelas que esta relação de temperatura e cor ocorre. Se aquecermos uma lâmina de ferro, veremos que inicialmente ela terá um tom avermelhado, tornando-se em seguida mais esbranquiçado. Uma lâmina incandescente, ao atingir temperaturas mais elevadas, fica mais clara. No que diz respeito a luz, a cor vermelha corresponde ao comprimento de onda de luz visível menos energético (menor temperatura), e o violeta, ao mais energético (maior temperatura). A lâmina de ferro aumenta sua temperatura ao ser aquecida; já em uma estrela, a temperatura está

relacionada à massa, ao tamanho e aos processos de fusão nuclear que ocorrem em seu interior. A cor de uma estrela está relacionada com a temperatura da camada mais superficial, a fotosfera estelar. Embora lâminas de ferro e estrelas sejam objetos totalmente distintos, através deles podemos verificar como cores e temperaturas estão associadas.

Ao olharmos a luz que vem de uma estrela através de um espectroscópio¹ vemos linhas (ou raios espectrais), escuras e com determinados espaçamentos. Estas linhas são produzidas pela presença de determinados elementos químicos nas camadas mais

externas das estrelas. As distribuições de linhas nos espectros correspondem a impressões digitais de cada elemento químico. Mas entender como a matéria se organiza por meio dos átomos, e quais as suas propriedades expressas (como na Tabela Periódica dos elementos), foi um grande desafio para a física moderna. Através de diferentes estudos, empreendidos por diferentes pesquisadores, que ora se complementavam, ora se contrapunham, passamos a ter uma nova compreensão do átomo e suas partículas constituintes.

Em 1913, Niels Bohr apresentou um modelo atômico onde os elétrons se moviam em órbitas estáveis, sem emitir radiação. Apenas quando o elétron trocava de órbita, um fóton era emitido ou absor-

vido, carregando junto uma quantidade bem determinada de energia. Cada átomo apresenta um conjunto único de órbitas eletrônicas, como se fossem as impressões digitais destes elementos e a energia emitida através de um fóton, quando o elétron passa de uma órbita de maior energia para outra de menor energia, é exatamente o valor da diferença de energia entre estas órbitas. A Fig. 1a mostra os níveis de energia do átomo de hidrogênio e as linhas de emissão para a transição de diferentes níveis energéticos, enquanto a Fig. 1b mostra o espectro para diferentes elementos contidos em uma estrela.

Ainda resta uma pergunta: como as órbitas representadas na Fig. 1a deixam suas marcas no espectro mostrado na Fig. 1b? A resposta vem através da lei de Kirchhoff. Quando a luz emitida por uma fonte sólida, como uma lâmpada incandescente, atravessa um prisma, ela é decomposta nas cores do espectro visível, de forma similar ao que ocorre na formação do arco-íris, quando a luz do Sol incide em gotículas de água presentes na atmosfera. A ilustração superior da Fig. 2 é uma representação desta decomposição do espectro. Quando a luz é emitida por uma fonte gasosa, como uma lâmpada fluorescente, apenas as transições dos níveis atômicos do elementos gasosos são excitados, aparecendo um conjunto discreto de linhas, conforme mostra a ilustração

As estrelas não são todas iguais: possuem diferentes tamanhos e massas e, em consequência disto, distintas temperaturas. As de menor massa são relativamente mais frias e possuem cores avermelhadas. As de maior massa são mais quentes e azuladas

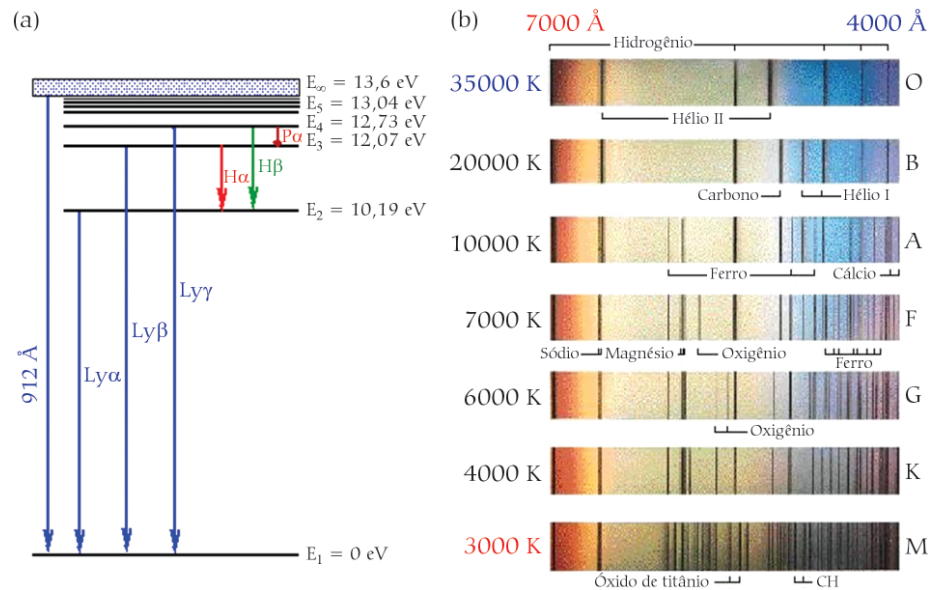


Figura 1 - (a) Níveis de energia para o átomo de hidrogênio e as transições atômicas. (b) Espectros de estrelas, destacando os elementos presentes em suas fotosferas. Fonte: Ref. [2].

do meio da Fig. 2. Perceba como que as linhas são coloridas. Ainda é possível emitir luz através de uma fonte incandescente e fazê-la atravessar um gás frio antes de passar pelo prisma. Neste caso, o gás absorverá a radiação que corresponde àquelas linhas que ele emitiria caso fosse aquecido. A ilustração inferior da Fig. 2 mostra tal comportamento, onde as linhas agora são escuras. Isto é o que ocorre nas estrelas, que produzem energia no seu interior, emitindo uma luz branca que, ao atravessar a fotosfera, tem linhas suprimidas (ou absorvidas) de seu espectro.

Os tipos espectrais² estelares são baseados nas linhas de absorção que encontramos em cada espectro e, portanto, refletem a composição química da estrela. Mas as classes espectrais estão fortemente associadas à temperatura das estrelas, então temperatura, cor e linhas visíveis no espectro estelar são propriedades que estão, de uma forma ou de outra, correlacionadas. Algumas estrelas têm, por exemplo, fortes linhas espectrais associadas ao elemento hidrogênio (classes A e F). Outras possuem linhas de hidrogênio fracas, mas fortes linhas de cálcio e magnésio (tipos G e K). Estrelas do tipo O são quentes, as de tipo M, são frias. As classes ainda estão divididas em subclasses como, por exemplo, nosso Sol, que é uma estrela do tipo G2, enquanto Sírius, que é uma estrela mais quente e com tonalidade branco azulada, é do tipo B3. A estrela Antares, a mais brilhante (e por isso denominada alfa - α) das estrelas pertencentes à constelação do Escorpião, é vermelha. Mais detalhes sobre a classificação das estrelas pode ser encontrado na Ref. [2]. Assim, podemos classificar as estrelas conforme mostra a Tabela 1.

Uma ferramenta importante na astronomia é o que conhecemos por diagrama HR, que corresponde a um gráfico onde se comparam as propriedades de grupos de estrelas e onde podemos visualizar a correlação entre diferentes parâmetros estelares, como temperatura, cor e luminosidade. O diagrama HR foi construído pela primeira vez, de forma independente, por dois astrônomos no início do século XX. O dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967) descobriu que a largura das linhas espectrais eram correlacionadas com o brilho intrínseco (luminosidade) das estrelas: as estrelas mais luminosas possuíam linhas mais estreitas. Deduz-se que as diferenças na largura das linhas espectrais são causadas pelas diferenças nos raios estelares, pois a luminosidade L de uma estrela é diretamente proporcional ao seu raio ($L \propto R^2$). O americano Henry Norris Russell (1877-1957)

Tabela 1 - Classificação das estrelas em função decrescente da temperatura.

O	$20.000 \leq K \leq T_{ef} 40.000 \text{ K}$	linhas de Hell (hélio uma vez ionizado) e ultravioleta forte	Mintaka (δ Ori, uma das Três Marias)
B	$T_{ef} \approx 15\ 000 \text{ K}$	linhas de Hel	Rigel (β Ori) e Spica (α Vir)
A	$T_{ef} \approx 9000 \text{ K}$	linhas de HI forte	Sírius (α Can Maj) e Vega (α Lyr)
F	$T_{ef} \approx 7000 \text{ K}$	linhas de metais observadas	Canopus (α Car) e Procyon (α Can Min)
G	$T_{ef} \approx 5500 \text{ K}$	fortes linhas de metais e HI fraco, CaI (H e K) fortes	Sol e Capela (α Aur)
K	$T_{ef} \approx 4000 \text{ K}$	linhas metálicas dominantes, contínuo azul fraco	Aldebarã (α Tau) e Arcturus (α Boo)
M	$T_{ef} \approx 3000 \text{ K}$	com bandas moleculares (TiO) muito fortes	Betelgeuse (α Ori) e Antares (α Sco)

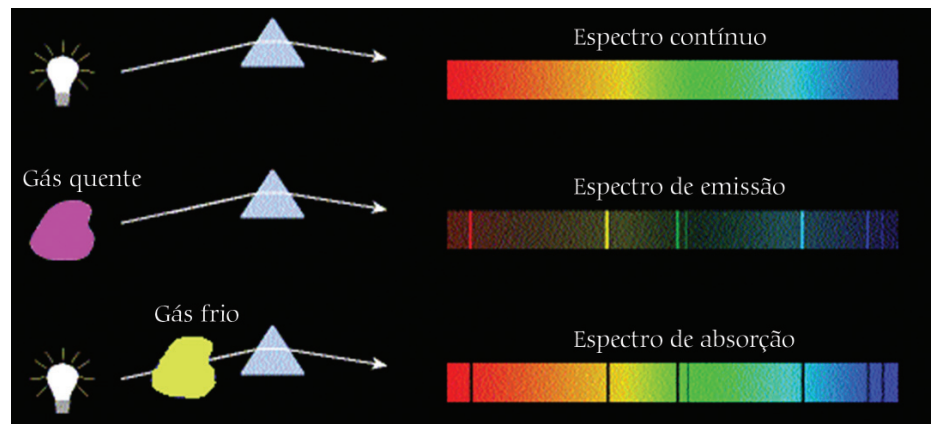


Figura 2 - Lei de Kirchhoff para o espectro de emissão e absorção. Fonte: Ref. [2].

chegou a um resultado semelhante, encontrando que a magnitude absoluta de uma estrela (diretamente ligada à luminosidade) é bem correlacionada com o tipo spectral. Desta forma, o diagrama HR apresenta no eixo vertical a luminosidade (ou magnitude) e no eixo horizontal a temperatura (ou tipo spectral, ou cor). A escala de temperatura é invertida, temperaturas maiores ficam à esquerda e menores à direita (Fig. 3). Como podemos dessa figura, estrelas podem ter a mesma cor, mas luminosidades distintas. Assim estabeleceu-se classes de luminosidade, as mais luminosas são chamadas de gigantes ou supergigantes, e as menos luminosas de anãs. Uma descrição mais detalhada do diagrama HR e suas propriedades pode ser obtida no já citado hipertexto da Ref. [2]. Tais diferenças entre as estrelas são características de seu

Os tipos espectrais estelares são baseados nas linhas de absorção que encontramos em cada espectro e, portanto, refletem a composição química da estrela. Mas as classes espectrais estão fortemente associadas à temperatura das estrelas, então temperatura, cor e linhas visíveis no espectro estelar são propriedades que estão, de uma forma ou de outra, correlacionadas

estágio de evolução. As estrelas que se encontram na sequência principal são estrelas que estão na fase inicial de sua vida, gerando energia em seu interior através da fusão nuclear do hidrogênio, formando um novo elemento no interior estelar, o hélio. A evolução de uma estrela depende principalmente de sua massa. Estrelas menos maciças passarão por um processo de queima do hélio de forma explosiva, a localização destas estrelas no diagrama HR é no ramo das gigantes, enquanto as estrelas mais maciças queimam o hélio de forma mais lenta, levando as estrelas para o ramo das supergigantes. Em ambos os casos as estrelas passam a transformar o hélio em carbono. Na Fig. 3 ainda podemos identificar uma faixa que corresponde às anãs brancas, um tipo de estrela que passou por um processo onde a maior parte da estrela que a formou foi ejetado, restando apenas um

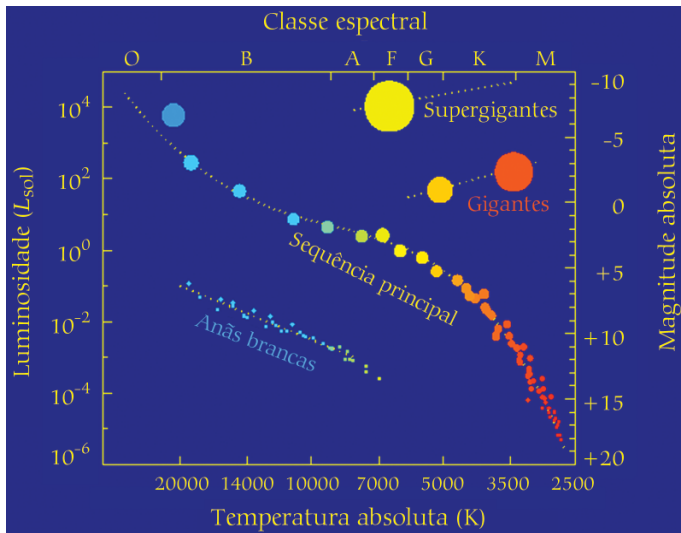


Figura 3 - Diagrama Hertzsprung-Russell (HR). Fonte: Ref. [2].

caroço com uma massa aproximada à massa do Sol. Vários processos podem levar à formação de uma anã branca, seja através de nebulosas planetárias ou de estrelas binárias interagentes.

Radiação de corpo negro

A mecânica quântica nasceu entre os anos de 1900 e 1920, quando a ciência atingiu um nível de avanço tecnológico que permitiu aos cientistas investigar o comportamento de partículas minúsculas. Uma das primeiras contribuições ao desenvolvimento da mecânica quântica foi feita pelo físico alemão Max Planck: em 1900, ele propôs que corpos aquecidos emitissem energia em quantidades bem definidas, denominadas por ele de *quanta*. Quando um corpo emite luz ao ser aquecido, estamos nos referindo ao processo de incandescência. Em uma lâmpada incandescente, um filamento de tungstênio é aquecido e emite luz. Lord Rayleigh (John William Strutt, 1842-1919) e Jeans (James Hopwood Jeans, 1877-1946) já haviam tentado descrever a radiação emitida por um corpo aquecido, utilizando o que hoje chamamos de teoria clássica, onde os efeitos da mecânica quântica não são considerados. Apesar de obterem resultados razoavelmente bons em uma faixa do espectro de radiação, a teoria falhava na tentativa de explicar o comportamento da radiação emitida por um corpo aquecido ao considerarmos altas frequências. Na tentativa de conciliar os resultados para altas frequências e a lei de Rayleigh-Jeans, Max Planck introduziu o conceito de quantização da energia e a constante que acabou por levar seu nome. O conceito de que a energia não poderia ser emitida em qualquer quantidade, mas apenas em valores bem definidos, parecia tão

absurdo na época que até mesmo Planck, ao introduzi-lo para corrigir as curvas de intensidade de radiação, definiu-o como um “ato de desespero”. O fato é que a lei de Planck para a radiação de corpo negro tornou-se um marco fundamental na elaboração da mecânica quântica, rendendo a seu autor o prêmio Nobel de Física de 1918. A lei da radiação de Planck nos fornece a intensidade da ra-

dição $I(\nu, T)$ como função da temperatura T e da frequência ν

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1},$$

onde h é a constante de Planck, k é a constante de Boltzmann e c é a velocidade da luz.

Mas o que é um corpo negro? Um corpo negro é um meio ou substância que absorve toda a radiação incidente sobre ele, e emite toda radiação produzida em seu interior. A radiação emitida por um corpo negro independe da constituição e forma do mesmo, dependendo somente da temperatura do corpo e do comprimento de onda da radiação emitida. Na natureza não existe um corpo que se enquadre totalmente nesta definição, mas as estrelas se constituem em uma boa

O conceito de que a energia não poderia ser emitida em qualquer quantidade, mas apenas em valores bem definidos, parecia tão absurdo na época que até mesmo Planck, ao introduzi-lo para corrigir as curvas de intensidade de radiação, definiu-o como um “ato de desespero”

aproximação. A lei de Planck nos fornece, então, uma relação entre a intensidade da radiação emitida por um corpo negro, a sua temperatura e o comprimento de onda desta radiação. A Fig. 4 mostra a intensidade da radiação emitida em função do comprimento de onda, de acordo com a lei de Planck. A intensidade é indicada pelo pico da curva nos gráficos, o comprimento de onda (λ) está indicado no eixo horizontal superior. O painel à esquerda ilustra as propriedades da radiação emitida por um corpo cuja temperatura é de 10.000 K. A figura mostra uma relação entre a intensidade da radiação e a cor que percebemos de um corpo aquecido. O pico da curva corresponde à maior intensidade de radiação. Neste painel vemos que o máximo de radiação está no violeta e ultravioleta, nos fazendo perceber o objeto com a cor violeta. O painel à direita representa o comportamento da radiação para um corpo com $T = 5.000$ K. O máximo da intensidade de radiação corresponde ao comprimento de onda associado à luz verde, fazendo com que o percebamos verde. Para cada comprimento de onda, a curva atinge um máximo em intensidade que está associado a uma temperatura característica, que corresponde a uma cor.

Quanto maior a temperatura, maior a intensidade de luz emitida, como indicado na Fig. 5.

Assim como qualquer outra lei da física, a lei de Planck pode ser aplicada em estudos realizados dentro de laboratórios

na Terra e também no espaço, sendo válida por todo o Universo. A aplicação de leis físicas que podemos evidenciar tanto em eventos terrestres como em eventos no espaço facilitam ao aluno perceber que as

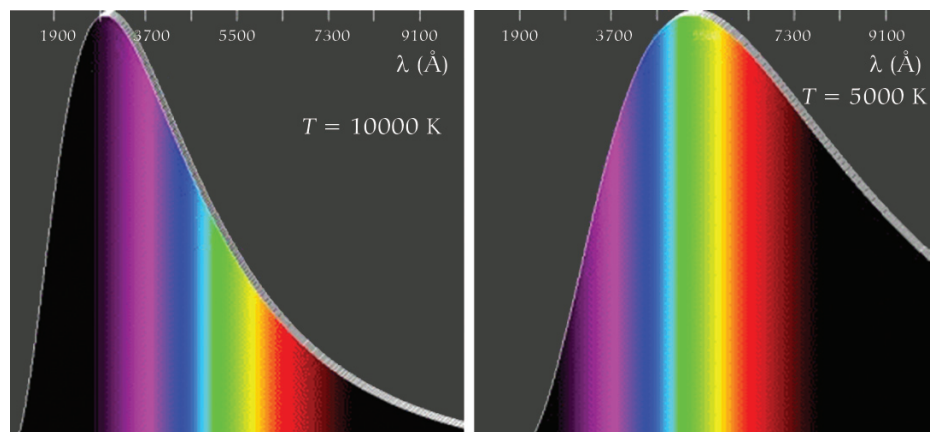


Figura 4 - Relação entre temperatura, intensidade de radiação e comprimento de onda, segundo a lei da radiação de Planck para $T = 10.000$ K e 5.000 K [1].

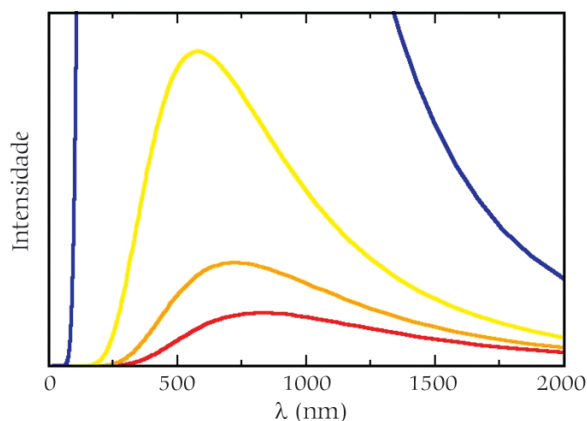


Figura 5 - Lei de Planck para as temperaturas $T = 3.500$ K (linha vermelha), $T = 4.000$ K (linha laranja), $T = 5.000$ K (linha amarela) e $T = 10.000$ K (linha azul).

leis da física são universalmente válidas e não, como se acreditava há poucos séculos (e como ainda faz parte de percepções alternativas do mundo), que uma lei válida para uma estrela distante não possa ter validade no dia-a-dia de um estudante ou dentro de um laboratório de alta tecnologia. A partir da cor observada de uma estrela, associamos o comprimento de onda que mais contribui para a radiação emitida e, através da lei de Planck ou, de forma mais direta, da lei de Wien

$$\lambda_{max} \times T = 2897,6 \mu\text{m} \times \text{K},$$

A partir dela obtemos a temperatura superficial aproximada da estrela. Por exemplo, usando-a podemos recuperar as informações que estão na Fig. 5. Nela vemos que o máximo em intensidade da curva em vermelho corresponde a um comprimento de onda de aproximadamente $\lambda = 750$ nm, o que irá corresponder a uma temperatura de

$$T = \frac{2897,6 \mu\text{m} \text{ K}}{\lambda_{max}} = 3863,5 \text{ K}.$$

De acordo com a Tabela 1, esta temperatura corresponde a uma estrela vermelho-alaranjada. Podemos confirmar o resultado obtido o utilizando o próprio diagrama HR.

Metodologia

Utilizamos uma máquina fotográfica digital (Panasonic Lumix DMC-FS12), com 12 Megapixels de resolução, apoiada sobre um tripé, fazendo fotografias com exposição de 15 s. As fotografias foram feitas utilizando o modo pré-formatado *starry night*. A máquina fotográfica digital funciona de forma semelhante à máquina analógica, quando um grupo de lentes produz uma imagem real e invertida do objeto que se deseja fotografar. A diferença está no detector, um filme foto-

gráfico, no caso da câmera analógica e, atualmente, um detector conhecido como CCD, sobre o qual falaremos mais adiante, no caso do equipamento digital. Em ambos os casos é possível regular o diafragma da máquina, objeto responsável por controlar a quantidade de luz que entra na câmera. Para fotografar um objeto em ambientes muito escuros, como estrelas no céu, devemos nos afastar de regiões luminosas como postes de iluminação, sob pena da luz do poste ofuscar o brilho das estrelas. Também devemos controlar o dia-

fragma de modo a permitir que uma maior quantidade de luz entre na câmera. Podemos fazer isto de duas formas: i) aumentando a abertura do diafragma, e ii) aumentando o tempo de exposição da fotografia, ou seja, o tempo em que o diafragma ficará aberto (podemos nos referir aqui à velocidade do obturador). Mais informações sobre como produzir fotografias do céu noturno e atividades interessantes desenvolvidas através de fotografias podem ser encontradas em Ourique e cols. [3] ou em Neves e Pereira [4].

Como mencionado anteriormente, escolhemos as constelações do Cruzeiro do Sul e do Escorpião por serem facilmente identificadas no céu e por apresentarem estrelas com as mais diversas características. O Cruzeiro do Sul apresenta estrelas do tipo espectral B1, Acrux e Mimosa, que resultam em cores mais azuladas, e Gamma Crucis, do tipo M4 e cor mais avermelhada. O Escorpião se destaca por Antares, que pode ser facilmente identificada a

olho nú e percebida com uma cor avermelhada. Estas estrelas aparecem na Fig. 6.

O programa de computador Stellarium pode ser utilizado como apoio nestas atividades, seja na forma de localização das constelações, seja na identificação de propriedades dos objetos escolhidos. Este programa está disponível de forma gratuita³ para diferentes plataformas computacionais e em diferentes idiomas. Ele permite ao usuário definir sua localização, data e horário da observação a ser feita. Ainda é possível definir a quantidade de poluição luminosa, ou seja, a magnitude dos objetos que podem ser observados, além de marcar as constelações, nomeando-as e ligando as estrelas mais brilhantes com traços, facilitando a sua identificação no céu. Ao selecionar um objeto ainda é possível obter diversas informações, como nome, tipo de objeto e magnitude. Diferentes abordagens para o uso deste programa ainda podem ser encontradas na literatura como, por exemplo, na Ref. [5], possibilitando trabalhar o movimento aparente dos astros, estações do ano e outras atividades.

Uma vez realizada a fotografia, que engloba toda a constelação do Escorpião (Fig. 7a), a imagem de cada estrela individual é aproximada (Figs. 7b e 7c). O mesmo procedimento é adotado para a constelação do Cruzeiro do Sul (Figs. 8a-8d). Cabe salientar que, apesar de um tempo de exposição maior que 15 s coletar mais luz no detector da câmera, tempos longos produzirão imagens mais alongadas das estrelas, devido ao movimento de rotação da Terra.

Mostramos a seguir as fotografias das constelações do Escorpião e do Cruzeiro do Sul, detalhando as estrelas δ -

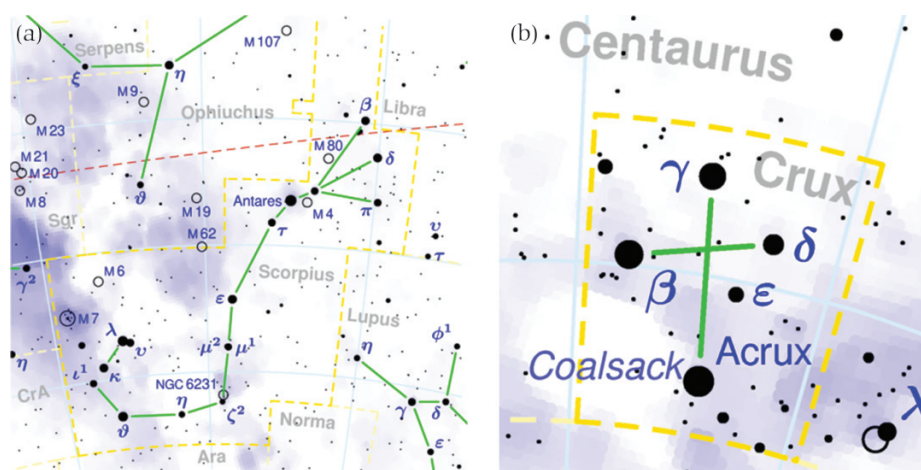


Figura 6 - Constelações do (a) Escorpião e (b) Cruzeiro do Sul. Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Constelações>.

scorpii (Delta-scorpii), Antares, α -Cru (Alfa-Cru) ou também conhecida como Estrela de Magalhães, β -Cru (Beta-Cru), também chamada de Mimosa e γ -Cru (Gama-Cru), ou Gacrux, ampliadas utilizando o programa Gimp.⁴ Salientamos que qualquer editor de imagem simples pode ser utilizado e que o procedimento é bastante similar; basta apenas aproximar a imagem de cada estrela até a imagem onde a cor da estrela esteja mais facilmente identificável, podendo ser comparada com a tabela de cores e temperaturas.

As cores de cada estrela ficam mais facilmente identificadas e podemos comparar as propriedades de cada uma através da Tabela 1, relacionando a cor com a temperatura aproximada. Na sequência, é possível confirmar o resultado da comparação com as propriedades de cada estrela apresentadas na Tabela 2. Nesta tabela são informadas a classe espectral, diâmetro ($2R_{\text{sol}} = 1,4 \times 10^9$ m), distância à Terra ($1 \text{ pc} = 3,08 \times 10^{16}$ m), luminosidade ($1 L_{\text{sol}} = 3,8 \times 10^{23}$ W), massa ($1 M_{\text{sol}} =$

$1,99 \times 10^{30}$ kg), temperatura e cor.

Fazendo uma comparação entre as cores e temperaturas dispostas nas Tabelas 1 e 2 e as cores das estrelas destacadas, é possível identificar a temperatura superficial das estrelas. Antares pode ser identificada com uma temperatura próxima à sua temperatura de 3500 K. Para δ -scorpii é possível apenas identificar a temperatura como sendo superior a 15.000 K. Também é possível identificar que α e β Cru são estrelas extremamente quentes, com temperaturas ao redor de dezenas de milhares de Kelvin, enquanto δ -Cru possui uma temperatura bem mais baixa. A relação entre as cores das estrelas e suas temperaturas pode ser feita de maneira aproximada comparando as cores das fotografias com aquelas apresentadas no diagrama HR da Fig. 3. Uma vez identificada a cor da estrela, comparando a fotografia da estrela com a Tabela 1, associamos o comprimento de onda correspondente àquela cor, conforme a Tabela 3.

Cabe ressaltar que, apesar de apresen-

tarmos uma proposta que seja simples e facilmente implementada em sala de aula, quando realizamos estudos mais precisos em astronomia, determinamos o quanto uma estrela é mais azul ou mais vermelha do que outra sem depender somente da sensibilidade de nossos olhos. O olho humano, à luz do dia, tem sensibilidade maior à cor verde (cujo comprimento de onda fica em torno de $\lambda = 550$ nm). Sob pouca luminosidade, a maior sensibilidade muda para algo em torno de $\lambda = 500$ nm. Por isso os astrônomos, quando observam as estrelas, registram a imagem utilizando filtros especiais, que permitem a passagem de determinados comprimentos de onda. Por exemplo, um filtro B permite a passagem dos comprimentos de onda mais próximos do azul; um filtro U permite a passagem do ultravioleta; já um filtro V deixará passar comprimentos de onda do amarelo, conforme mostra a Fig. 9. A Tabela 2 apresenta os índices de cor U-B e B-V, fornecidos por catálogos estelares. Estes índices indicam que a magnitude (luminosidade) da estrela obtida com o filtro U

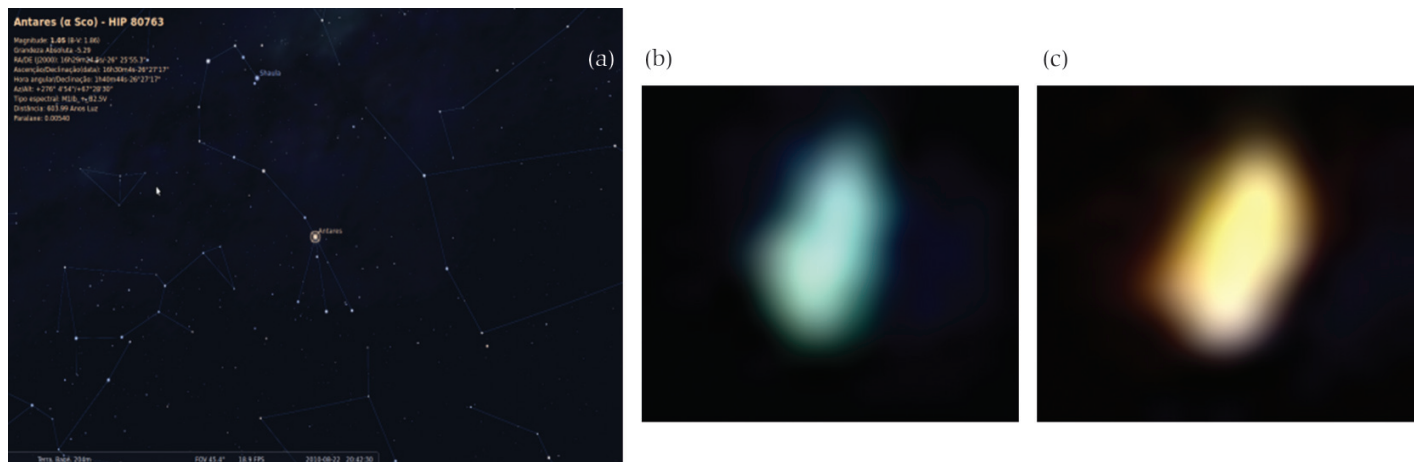


Figura 7 - (a) Imagem da constelação do Escorpião obtida como captura de tela do Stellarium. Fotos das estrelas da constelação de Escorpião, aproximadas através de aumento digital de uma fotografia da constelação: (b) Delta Scorpii, (c) Antares.

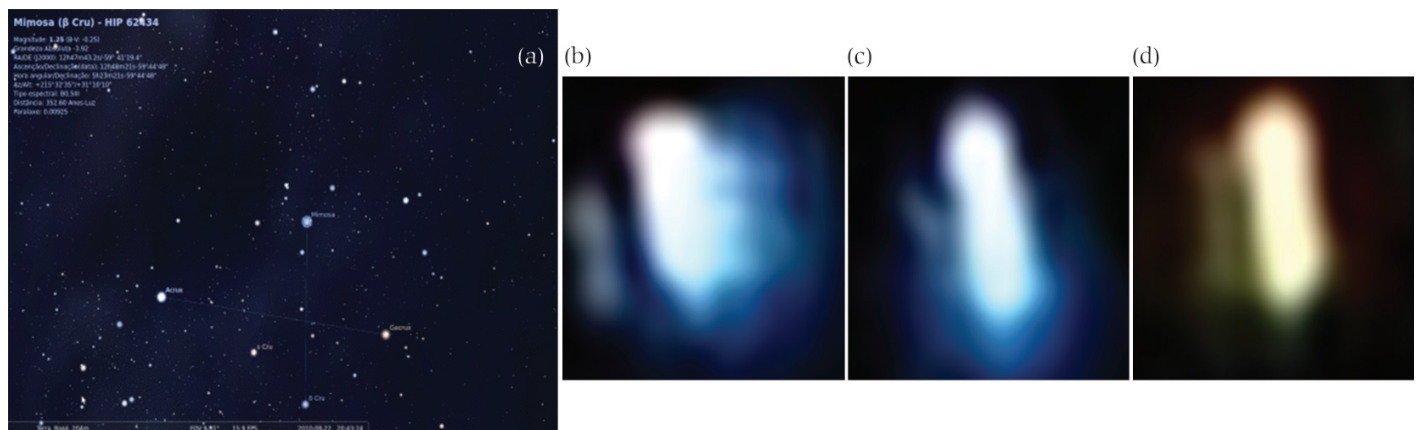


Figura 8 - (a) Imagem da constelação do Cruzeiro do Sul obtida como captura de tela do Stellarium. Fotos das estrelas da constelação do Cruzeiro do Sul, aproximadas através de aumento digital de uma fotografia da constelação: (b) α -Cru, (c) β -Cru e (d) δ -Cru.

Tabela 2 - Propriedades das estrelas observadas.

Nome	Classe/ tipo espectral	Diâmetro ($2R_{\text{sol}}$)	Distância (pc)	Luminosidade (L_{sol})	Massa (M_{sol})	Temperatura (K)	Cor
Escorpião Delta Scorpil (Dschubba)	Subgigante B0	5 a 6	123	14 000	6 a 12	28 000	U-B = -0,91, B-V = -0,12
Antares	Supegigante M1	800	150	10 000 a 90 000	15 a 18	3500	U-B = 1,34, B-V = 1,87
Cruzeiro do Sul							
Alpha Crux	Subgigante B1	-	100	7000 a 25 000	10 a 14	30 000	U-B = -1,03, B-V = -0,24
Beta Crux	Gigante B0	8,1	150	34 000	14	28 000	U-B = -1, B-V = -0,23
Gama Crux	Gigante M4	56,5	67	1500	3	3400	U-B = 1,78, B-V = 1,6

Tabela 3 - Relação entre comprimento de onda e frequência, atribuindo uma cor para cada faixa do espectro de frequências. Fonte: Ref. [2].

Cor	Comprimento de onda (nm)	Frequência (1012 Hz)
Violeta	390-455	659-769
Azul	455-492	610-659
Verde	492-577	520-610
Amarelo	577-597	503-520
Laranja	597-622	482-503
Vermelho	622-780	384-482

foi subtraída da obtida com o filtro B e, da mesma forma, para B-V. Vega, uma estrela branca ($T_{\text{efetiva}} = 10.105 \pm 230$ K), tem (U-B) = (B-V) = 0. O Sol, uma estrela amarela ($T_{\text{efetiva}} = 5.778 \pm 1$ K), tem (U-B) = 0,17 e (B-V) = +0,68.

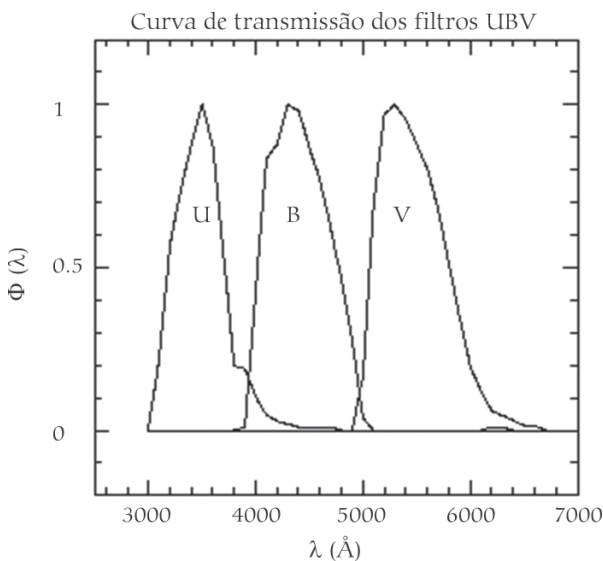


Figura 9 - Curvas de transmissão dos filtros UBVR. Fonte: Ref [2].

Conclusões

Através de uma atividade de observação do céu e registro da imagem de uma constelação por meio de uma câmera fotográfica digital, podemos trazer para o ambiente da sala de aula as diferentes cores das estrelas, associando-as às propriedades físicas das mesmas e trabalhando diferentes conteúdos de forma criativa e prática. Ainda introduzimos conceitos, propostos pelos PCNs, de astronomia e de física moderna, além do contato com instrumentos de medida. Apesar de, dentro desta proposta, não ser possível determinar a temperatura das estrelas com relativa precisão, devido ao fato de propormos uma atividade de fácil implementação, é possível ter-se uma ideia da ordem de grandeza destas temperaturas. Nosso objetivo no presente trabalho foi o de explorar a ligação entre tópicos de astronomia e física moderna, utilizando a primeira como tema gerador da segunda. Estas atividades ainda podem ser desenvolvidas juntamente com outras propostas descritas nas referências deste trabalho, enriquecendo o estudo da astronomia em sala de aula. Apesar desta proposta não ter sido implementada em sala de aula visando a abordagem de tópicos de física moderna na educação básica, foi testada no que diz respeito à viabilidade de sua implementação, isto é, à obtenção de imagens fotográficas de estrelas e/ou constelações por estudantes, e a determinação de cores características e temperaturas. Neste caso, a

atividade foi bem sucedida, indicando que além de viável, é simples e prazerosa, sendo capaz de despertar o interesse dos alunos para a astronomia e para a física moderna.

Notas

¹Instrumento que decompõe a luz em seus diferentes comprimentos de onda, da mesma forma que a luz branca é decomposta em várias cores ao passar por um prisma.

²Para maiores detalhes, ver <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.html>.

³ <http://www.stellarium.org>.

⁴Editor de imagens gratuito disponível tanto para o sistema operacional Windows quanto Linux. Mais informações disponíveis em <http://www.gimp.com.br/smf/index.php>.

Referências

- [1] Marcos D. Longhini, Física na Escola **10**(1), 26 (2009).
- [2] K.S. Oliveira Filho e M.E.O. Saraiva, Hipertexto de Astronomia e Astrofísica, disponível em <http://astro.if.ufrgs.br/index.htm>.
- [3] Pedro A. Ourique, G. Odilon e F. Catelli, Revista Brasileira Ensino Física **32**, 1302 (2010).
- [4] Marcos C.D. Neves e R.F. Pereira, Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia **4**, 27 (2007).
- [5] M. Andrade, J. Silva e A. Araújo, IX Jornada de Ensino Pesquisa e Extensão da UFRPE, (UFRPE, Recife, 2009), disponível em <http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/R0793-3.pdf>, acesso em 25/2/2011

Saiba mais

Marisa A. Cavalcante e Cristiane R.C. Tavoraro, Física na Escola **3**(2), 40 (2002).